PCT ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) **Classification internationale des brevets** 6 : **G02F 1/35, 1/37, 1/39** — **A1**

(11) **Numéro de publication internationale:** **WO 99/28785**

(43) **Date de publication internationale:** 10 juin 1999 (10.06.99)

(21) **Numéro de la demande internationale:** PCT/FR98/02563

(22) **Date de dépôt international:** 27 novembre 1998 (27.11.98)

(30) **Données relatives à la priorité:**
97/14947 27 novembre 1997 (27.11.97) FR

(71) **Déposant** *(pour tous les Etats désignés sauf US)*: UNIVERSITE DE BOURGOGNE [FR/FR]; Maison de l'Université, Esplanade Erasme, F-21000 Dijon (FR).

(72) **Inventeurs; et**
(75) **Inventeurs/Déposants** *(US seulement)*: BOULANGER, Benoit [FR/FR]; 17, allée Sicardet, F-21121 Fontaine les Dijon (FR). FEVE, Jean-Philippe [FR/FR]; 35, rue Jacques Cellerier, F-21000 Dijon (FR). MENAERT, Bertrand [FR/FR]; Lycée Léonard de Vinci, F-21130 Auxonne (FR). MARNIER, Gérard [FR/FR]; 4, rue Edouard Herriot, F-21240 Talant (FR).

(74) **Mandataires:** PEAUCELLE, Chantal etc.; Cabinet Armengaud Ainé, 3, avenue Bugeaud, F-75116 Paris (FR).

(81) **Etats désignés:** AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

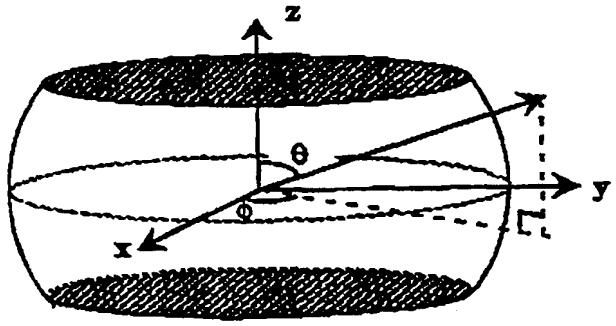
Publiée
Avec rapport de recherche internationale.

(54) **Title:** MEANS FOR GENERATING OPTICAL RADIATIONS TUNEABLE AT LEAST IN FREQUENCY

(54) **Titre:** MOYENS POUR LA GENERATION DE RAYONNEMENTS OPTIQUES ACCORDABLES AU MOINS EN FREQUENCE

(57) **Abstract**

The invention concerns a device for generating, by interaction(s) with three or four waves from one or several incident optical radiation(s), one or several emergent radiation(s) tuneable at least in frequency. The invention is characterised in that it consists essentially of a crystal with non-linear optical property whereof the surface defines a cylindrical volume with complete revolution, or truncated on at least two opposite faces symmetrical relative to its axis of revolution, or partial on one of two said faces. Said device is particularly designed for applications in spectroscopy, remote sensing, long-distance transmission, remote guiding. The invention also concerns a method using said device.



cylindroïde 2

cylindroïd 2

(57) **Abrégé**

La présente invention concerne un dispositif pour la génération, par interaction(s) à trois ou quatre ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence. Le dispositif selon l'invention est essentiellement constitué par un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète, ou bien de manière tronquée sur au moins deux cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution, ou bien de manière partielle sur un seul de tels cadrans. Le dispositif selon l'invention est particulièrement destiné à des applications de spectroscopie, de télédétection, de télétransmission, de téléguidage. La présente invention concerne également une méthode mettant en oeuvre un tel dispositif.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	**ES**	Espagne	**LS**	Lesotho	**SI**	Slovénie
AM	Arménie	**FI**	Finlande	**LT**	Lituanie	**SK**	Slovaquie
AT	Autriche	**FR**	France	**LU**	Luxembourg	**SN**	Sénégal
AU	Australie	**GA**	Gabon	**LV**	Lettonie	**SZ**	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	**GB**	Royaume-Uni	**MC**	Monaco	**TD**	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	**GE**	Géorgie	**MD**	République de Moldova	**TG**	Togo
BB	Barbade	**GH**	Ghana	**MG**	Madagascar	**TJ**	Tadjikistan
BE	Belgique	**GN**	Guinée	**MK**	Ex-République yougoslave de Macédoine	**TM**	Turkménistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Grèce			**TR**	Turquie
BG	Bulgarie	**HU**	Hongrie			**TT**	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	**IE**	Irlande	**ML**	Mali	**UA**	Ukraine
BR	Brésil	**IL**	Israël	**MN**	Mongolie	**UG**	Ouganda
BY	Bélarus	**IS**	Islande	**MR**	Mauritanie	**US**	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	**IT**	Italie	**MW**	Malawi	**UZ**	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	**JP**	Japon	**MX**	Mexique	**VN**	Viet Nam
CG	Congo	**KE**	Kenya	**NE**	Niger	**YU**	Yougoslavie
CH	Suisse	**KG**	Kirghizistan	**NL**	Pays-Bas	**ZW**	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	République populaire démocratique de Corée	**NO**	Norvège		
CM	Cameroun			**NZ**	Nouvelle-Zélande		
CN	Chine	**KR**	République de Corée	**PL**	Pologne		
CU	Cuba	**KZ**	Kazakstan	**PT**	Portugal		
CZ	République tchèque	**LC**	Sainte-Lucie	**RO**	Roumanie		
DE	Allemagne	**LI**	Liechtenstein	**RU**	Fédération de Russie		
DK	Danemark	**LK**	Sri Lanka	**SD**	Soudan		
EE	Estonie	**LR**	Libéria	**SE**	Suède		
				SG	Singapour		

Moyens pour la génération de rayonnements optiques accordables au moins en fréquence

La présente invention est, de manière générale, relative à un dispositif et une méthode pour la génération de rayonnements optiques accordables au moins en fréquence.

Différents dispositifs et méthodes sont actuellement disponibles pour la conversion de fréquence par interaction optique non linéaire en accord de phase ou en quasi-accord de phase. Aucun de ces dispositifs n'est toutefois pleinement fonctionnel et/ou satisfaisant.

Il peut, à ce titre, être cité l'exemple des dispositifs utilisant des monocristaux à forme parallélépipédique. Certains de ces dispositis à monocristaux parallélépipédiques sont destinés à la conversion de fréquence par interaction optique non linéaire en accord de phase par biréfringence. L'orientation des faces du parallélépipède est alors choisie en fonction de l'interaction souhaitée. Ainsi dans la plupart des cas, comme pour la génération de second harmonique par exemple, un cristal n'est utilisable que pour une interaction donnée, c'est-à-dire pour un doublet de fréquence (ν, 2ν) particulier dont la direction d'accord de phase associée est orthogonale aux faces polies. Il existe néanmoins des dispositifs à base de cristaux parallélépipédiques qui utilisent l'accordabilité en angle pour l'amplification ou l'oscillation paramétrique par exemple. Du fait des pertes induites par la réfraction et la non-colinéarité des vecteurs d'ondes en incidence oblique, il n'y a qu'une faible plage angulaire du cristal qui peut être utilisée, typiquement

une dizaine de degrés en angle externe de part et d'autre des directions orthogonales aux deux faces parallèles soumises au rayonnement. Un tel écart angulaire n'est pas toujours suffisant pour accéder à la totalité des directions d'accord de phase existantes. D'autre part la réfraction en incidence oblique conduit à une déformation et à un élargissement spectral des faisceaux générés.

D'autres dispositifs accordables à matériaux parallélépipédiques sont destinés à la conversion de fréquence par interaction optique non linéaire en quasi-accord de phase. Ils utilisent alors la translation par rapport au rayonnement d'un échantillon parallélépipédique dans lequel ont été gravés plusieurs réseaux de différentes périodicités. L'inconvénient majeur de cette technique est qu'il est nécessaire de réaliser pour chaque saut d'un réseau à l'autre, un accord angulaire ou thermique afin de rendre continue la plage spectrale du rayonnement généré.

Ceci est valable que l'interaction soit résonante ou non, c'est-à-dire que l'échantillon soit placé dans une cavité ou non.

D'autres dispositifs de l'art antérieur nécessitent un milieu d'adaptation d'indice, et/ou ne présentent pas une finesse spectrale satisfaisante sur une large gamme d'accordabilité.

La présente invention vise à pallier les inconvénients des dispositifs et techniques de l'art antérieur et propose un dispositif pour la génération, par interaction(s) à trois ou quatre ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence, caractérisé en ce qu'il est essentiellement constitué par un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète, ou

bien de manière tronquée sur au moins deux cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution ou bien de manière partielle sur un seul de ces cadrans, et en ce qu'il comprend en outre un système optique permettant d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la partie centrale dudit cristal, et permettant d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s).

Par volume cylindrique de révolution, on entend dans la présente demande un volume de revolution décrit par un segment de droite ou de courbe se déplaçant le long de deux courbes fermées situées dans des plans parallèles. Ces courbes fermées peuvent être choisie parmi le groupe constitué par des cercles et des ellipses.

Le terme volume cylindrique de révolution comprend donc un volume de cylindre tel qu'illustré sous la référence 1 en figure 2 (volume décrit par un segment de droite), et un volume de cylindroide, tel qu'illustré sous la référence 2 en figure 2 (volume décrit par un segment de courbe). Il doit être souligné que ces volumes cylindriques de révolution (cylindre et cylindroïde) peuvent présenter une section choisie parmi le groupe constitué par une section circulaire, et une section elliptique. Une telle section peut notamment être considérée suivant un plan orthogonal à l'axe de révolution.

Ce volume cylindrique de révolution constitue, lorsqu'il est décrit de manière complète, un volume de base, à partir duquel peuvent être dérivés des volumes décrits de manière tronquée, ou bien encore de manière partielle. En effet, compte-tenu de la symétrie de la surface des indices, une rotation de $\Delta\alpha = 90°$ d'un cristal à volume cylindre de révolution par rapport à un axe principal de la surface des indices est suffisante

pour accéder à l'ensemble des interactions optiques non linéaires de conversion de fréquence possibles.

Le volume cylindrique de révolution peut donc n'être usiné que de manière tronquée, ou de manière partielle, tout en conservant l'accès à l'ensemble des interactions possibles. Il peut bien sûr être aussi choisi de n'usiner ledit volume cylindrique que de manière tronquée ou partielle dans le simple but de limiter l'usinage au sous-ensemble d'interactions particulières recherchées.

L'usinage tronquée peut ne se faire, par rapport au volume cylindrique de révolution, que sur deux cadrans cylindriques opposés correctement orientés, symétriques par rapport à l'axe de rotation, voire deux portions de cadrans dont l'écart angulaire $\delta\alpha$ permet la propagation des différentes interactions recherchées. Le volume en résultant correspond à un volume cylindrique de révolution décrit de manière tronquée. Un tel volume tronqué est illustré sous la référence 3 (cylindre tronqué) et 4 (cylindroïde tronqué) en figure 2.

Alternativement, il peut n'être usiné qu'un seul de ces cadrans, ou portions de cadrans. Le volume en résultant correspond à un volume cylindrique de révolution décrit de manière partielle. Un tel volume partiel est illustré en figure 2 sous la référence 5 (portion de cylindre ou de cylindroïde suivant des plans contenant l'axe de révolution).

Le cristal du dispositif selon l'invention peut ainsi notamment présenter un volume choisi parmi le groupe constitué par un volume de cylindre 1, un volume de cylindroïde 2, un volume de cylindre tronqué 3 ou 4 (présentant au moins deux cadrans de volume cylindrique de révolution opposés et symétriques par rapport à l'axe de révolution dudit cristal), un volume de cylindre ou cylindroïde partiel 5 (portion de cylindre ou cylindroïde présentant un seul de tels cadrans). Lesdits volumes de

cylindre ou de cylindroïde peuvent présenter une section circulaire ou une section elliptique, notamment suivant un plan orthogonal à l'axe de révolution.

Ledit cristal présente, au moins sur ses surfaces utiles, un état de surface approprié à la réalisation d'interactions optiques. En particulier, la (les) surface(s) dudit cristal qui définit(ssent) un volume cylindrique de révolution est (sont) optiquement polie(es).

Le terme "rayonnement optique" se réfère dans la présente demande à un faisceau d'ondes électromagnétiques dont la ou les fréquence(s) appartient (appartiennent) au spectre ultra-violet et/ou visible et/ou infrarouge. La valeur de cette ou ces fréquence(s) est comprise entre 1 et 15 000 nanomètres environ, et, plus particulièrement entre 100 et 10 000 nanomètres environ.

Par propriété optique non linéaire, on entend dans la présente demande une propriété de conversion de fréquence optique et/ou une propriété électro-optique.

Le dispositif selon l'invention présente de nombreux avantages. Il permet en effet de réaliser différents types d'interactions (notamment, amplification paramétrique optique, génération de second ou tierce harmonique, oscillation paramétrique optique), et cela, en accord de phase aussi bien qu'en quasi-accord de phase. Il peut également être souligné que le dispositif selon l'invention permet la réalisation d'interactions à trois ondes, mais également d'interactions à quatre ondes, et qu'il autorise des interactions à vecteurs d'ondes co-linéaires, tout comme des interactions à vecteurs d'ondes non colinéaires.

Le dispositif selon l'invention présente également l'avantage de permettre, avec un seul cristal, la génération de rayonnements d'une meilleure qualité spatiale et une meilleure finesse spectrale, et cela sur

une plus grande plage spectrale que ne le permettent les dispositifs actuellement disponibles.

Le dispositif selon l'invention permet en effet la réfraction en incidence normale, ou proche de la normale pour un réseau elliptique, par rapport aux surfaces recevant les rayonnements, quelle que soit l'orientation du cristal non-linéaire par rapport aux faisceaux, du moment que les faisceaux se propagent selon un diamètre dudit volume cylindrique. Le terme "proche de la normale" vise une direction s'écartant d'un angle $i(\alpha)$ de la direction normale, tel que défini dans l'exemple 12 suivant, et la figure 11. De ce fait, l'interaction de conversion de fréquences dans le cristal se fait toujours à vecteurs d'ondes colinéaires ce qui permet la génération de faisceaux avec un meilleur profil transversal en énergie et une meilleure finesse spectrale que dans le cas des dispositifs de l'art antérieur. Dans les dispositifs de l'art antérieur, présentant un cristal à géométrie parallélépipédique, l'interaction de conversion de fréquences se fait en effet généralement à vecteurs d'onde non colinéaires dès que le cristal non linéaire est mis en rotation et que les faisceaux ne sont plus en incidence normale ou quasi-normale, mais en incidence oblique ; ainsi la qualité des faisceaux émis se détériore et ce d'autant plus que la non-colinéarité est importante.

Le dispositif selon l'invention est adapté à (et spécifiquement optimisé pour) l'accordabilité en fréquences, il utilise un système focalisant/collimatant, ce qui lui permet notamment de contrôler la propagation des rayonnements. Le système optique confinant et collimatant du dispositif selon l'invention permet notamment d'assurer un contrôle optimisé de la propagation des rayonnements : il offre ainsi une meilleure finesse spectrale associée à une gamme spectrale d'accordabilité plus large.

Il permet également d'utiliser le cristal sans qu'il soit nécessaire de l'immerger dans un milieu d'adaptation d'indice tel qu'un liquide d'adaptation d'indice de réfraction. Le dispositif selon l'invention ne nécessite en effet pas de milieu d'adaptation d'indice : ledit cristal peut être placé à l'air libre, ou dans tout milieu d'indice quelconque. Le dispositif selon l'invention présente donc également les avantages de la simplicité mécanique (simplification du système de maintien et de mise en rotation du cristal non linéaire).

Le dispositif selon l'invention est particulièrement adapté aux cristaux qui comportent au moins une entité chimique hyperpolarisable. Ledit cristal est préférentiellement un cristal choisi parmi le groupe constitué par un cristal de $KTiOPO_4$, de $KTiOAsO_4$, de $RbTiOPO_4$, de $RbTiOAsO_4$, de $CsTiOAsO_4$, de β. BaB_2O_4, de LiB_3O_5, de $KNbO_3$, de $LiIO_3$, de $LiNbO_3$, de $LiTaO_3$, de KD_2PO_4, de KH_2PO_4, de $NH_4H_2PO_4$, de CsD_2AsO_4, de CsH_2AsO_4, de $AgGaS_2$, de $AgGaSe_2$, de $ZnGeP_2$, de Tl_3AsSe_3 et un cristal de GaAs. La taille dudit cristal est avantageusement choisie parmi le groupe constitué par une taille micrométrique, une taille millimétrique et une taille centrimétrique.

Selon une disposition de cet aspect avantageux, ledit système optique est essentiellement constitué par au moins deux éléments placés de part et d'autre dudit cristal et choisis parmi le groupe constitué par une lentille convergente, une lentille divergente, un ensemble de lentilles, une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté dudit cristal, et une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté opposé dudit cristal. Ils sont choisis de manière à présenter une focale et une géométrie telles, et de manière à pouvoir être respectivement placés à une distance focale telle, qu'un premier d'entre eux est capable de focaliser un rayonnement laser incident sur

ledit cristal, et qu'un deuxième d'entre eux est capable de diminuer la divergence du rayonnement laser émergent du cristal. Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs paire(s) de tels éléments optiques, et en particulier une ou plusieurs paire(s) de lentilles.

La distance focale desdits éléments est telle que le (ou les) rayonnement(s) a (ont) une dimension faible par rapport au rayon dudit cristal pour limiter les aberrations optiques et augmenter l'efficacité d'interaction, et que cette dimension soit suffisante pour éviter un endommagement du cristal par une intensité incidente trop importante. Cette distance focale est généralement comprise entre 50 et 500mm environ.

Selon un autre aspect avantageux de l'invention, l'axe de révolution dudit cristal est confondu avec un axe mécanique rotatif de façon à ce que le cristal puisse tourner autour de son axe. Un tel cristal peut alors être avantageusement solidarisé avec un dispositif goniométrique permettant de contrôler son déplacement angulaire.

Selon encore un autre aspect avantageux de l'invention, ledit cristal est un cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence, tel qu'un cristal monocristallin, ou bien est un cristal à propriété de quasi-accord de phase.

Un dit cristal à propriété de quasi-accord de phase peut présenter, le long de la direction de propagation des rayonnements recherchée, une juxtaposition périodiquement alternée de domaines monocristallins, c'est-à-dire une juxtaposition de couches monocristallines tournées d'un angle de 180° les unes par rapport aux autres. Un tel cristal à propriéte de quasi-accord de phase peut par exemple être obtenu par usinage et juxtaposition de monocristaux, ou bien encore par application d'un champ électrique à un réseau d'électrodes déposées sur les faces

orthogonales à l'axe polaire d'un cristal ferroélectrique. Il en résulte avantageusement un cristal dont le réseau présente un vecteur de périodicité orthogonal à l'axe de révolution dudit cristal, et qui présente un coefficient non linéaire effectif de signe périodiquement alterné selon des intervalles dépendants de la direction de propagation considérée. L'interaction dont la longueur de cohérence est égale à un multiple impair de la largeur de domaine monocristallin dans la direction de propagation considérée a alors une efficacité maximale. En variante, un cristal à propriété de quasi-accord de phase adapté au dispositif selon l'invention peut présenter différentes valeurs d'indice de réfraction, modulées de façon périodique selon la direction de propagation considérée.

Selon encore un autre aspect avantageux de l'invention, l'axe de révolution dudit cristal est orthogonal au plan de la (ou des) direction(s) de vecteurs d'onde d'une interaction recherchée, et plus particulièrement de la (ou des) direction(s) permettant une efficacité maximale de cette interaction.

Selon un aspect particulièrement avantageux de l'invention, ledit cristal contient la (ou les) direction(s) permettant une efficacité maximale de l'interaction, de telle manière qu'elle(s) soit (soient) accessible(s) audit (auxdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) en incidence normale ou proche de la normale (déviation d'un angle i(α) par rapport à la normale, tel que défini en exemple 12 suivant -formule 21, notamment- et en figure 11), par rapport aux surfaces recevant les rayonnements, sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution, soit par rotation dudit cristal autour de son axe de révolution, soit par rotation dudit (desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) autour dudit cristal dans un plan orthogonal à l'axe de révolution dudit cristal. Cet aspect

particulièrement avantageux de l'invention permet, dans le cas dudit cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence, de n'utiliser qu'un seul cristal au lieu d'une pluralité de cristaux parallélépipédiques, et dans le cas dudit cristal à propriété de quasi-accord de phase, d'utiliser un cristal gravé d'un seul réseau au lieu d'un cristal parallélépipédique gravé d'une pluralité de réseaux. Un autre aspect particulièrement avantageux de l'invention est qu'elle permet, dans le cas dudit cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence, d'une part d'obtenir une accordabilité sur un plus grand domaine spectral et, d'autre part de limiter les phénomènes d'atténuation et de déformation de faisceaux qui peuvent être observés en incidence oblique, et dans le cas dudit cristal à propriété de quasi-accord de phase, d'obtenir une accordabilité plus continue.

Le cristal du dispositif selon l'invention peut présenter un réseau de domaines monocristallins choisi parmi le groupe constitué par un réseau de domaines monocristallins plans, un réseau de domaines monocristallins courbes (circulaires, elliptiques). Les paramètres de tels réseaux sont plus avant décrits dans les exemples qui suivent.

Ce réseau cristallin, plan ou courbe, peut également présenter des domaines périodiquement alternés, notamment pour un fonctionnement en quasi-accord de phase : le réseau peut alors être constitué de domaines dont le signe du coefficient effectif est périodiquement alterné (un domaine +, un domaine -, ...), ou dont la valeur de l'indice de réfraction est périodiquement modulée (un domaine d'indice n_1, un domaine d'indice $n_2 \neq n_1$, ...). Dans le cas du réseau plan, le volume délimité par ce réseau alterné peut être avantageusement entouré d'une couronne monocristaline dont le signe du coefficient effectif n'est pas alterné. Il peut donc s'agir d'un réseau

périodiquement alterné, éventuellement entouré d'une couronne monocristalline c non alternée. Une disposition de réseau plan alterné entouré d'une couronne c non alternée est illustrée en exemple 11 suivant et en figure 10. Alternativement, il peut s'agir d'un réseau courbe, circulaire ou elliptique, périodiquement alterné. Un tel réseau alterné courbe est notamment envisagé afin d'éviter ou limiter des pertes par réfraction ou diffusion aux interfaces planes des zones + et des zones - en incidence oblique. Ces dispositions sont illustrées, et leurs paramètres, notamment de calcul de périodicité, sont décrits en détail dans les figures et exemples suivants.

Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend (comprennent chacun) une, deux, trois ou quatre fréquence(s) égales ou différentes, à vecteurs d'onde colinéaires ou non colinéaires, et en incidence normale ou quasi-normale (déviation d'un angle i(α) par rapport à la normale,tel que défini en exemple 12 suivant et figure 11) sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution. De tels rayonnements peuvent notamment être générés par une source de rayonnements électromagnétiques associée audit dispositif.

Préférentiellement, ledit (ou lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) est (sont des) un rayonnement(s) laser, tel qu'un rayonnement émis par un laser à gaz (hélium-néon, argon ionisé, azote et dioxyde de carbone, excimères), un laser solide (rubis, ions néodyme), un laser liquide à colorant, un laser à semiconducteurs (arséniure de gallium), un laser à électrons libres. Il peut notamment s'agir d'un (ou de) rayonnement(s) laser choisi(s) parmi le groupe constitué par un rayonnement laser comportant une (des) fréquence(s) fixe(s) et un rayonnement laser comportant une (des) fréquence(s) accordable(s).

Le dispositif selon l'invention est notamment approprié à la réalisation d'interaction(s) à trois ondes ou à quatre ondes. De telle sorte que ledit dispositif permette une (des) interaction(s) à trois ondes, ledit cristal présente avantageusement une structure non centro-symétrique.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, et ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à la somme desdites deux, ou le cas échéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

Selon encore un autre mode de réalisation de l'invention, ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence égale à un multiple, et notamment au double ou au triple d'une fréquence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

Selon encore un autre mode de réalisation de l'invention, ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, et ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à une différence entre lesdites deux, ou le cas echéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

Selon encore un autre mode de réalisation de l'invention, ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une

interaction à quatre ondes, dont la somme est égale à une fréquence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

Ladite (ou au moins une desdites) interaction(s) peut être une interaction à vecteurs d'ondes colinéaires, ou bien une interaction à vecteurs d'ondes non colinéaires.

Ladite (ou au moins une desdites) interaction(s) est préférentiellement une interaction choisie parmi le groupe constitué par une amplification paramétrique optique et une génération de second ou tierce harmonique. Le dispositif selon l'invention fonctionne alors en tant qu'amplificateur paramétrique optique, ou respectivement, en tant que générateur de second ou tierce harmonique.

Selon un mode avantageux de réalisation de l'invention, ledit cristal est placé à l'intérieur d'une cavité permettant une interaction résonante, et en ce que ledit système optique permettant d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, et permettant d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s), est placé à l'extérieur de ladite cavité. Ce système optique est, dans le dispositif selon l'invention, nécessairement placé à l'extérieur de ladite cavité. L'avantage de cette dispcsition est telle que les pertes par réfraction, diffraction, diffusion et absorption sont plus faibles que s'il y avait des lentilles entre le cristal et les miroirs de la cavité. Cette interaction résonante peut notamment être une interaction à trois ou quatre ondes choisie parmi le groupe constitué par une oscillation paramétrique optique, une amplification paramétrique optique et une génération de second ou tierce harmonique. La disposition dudit cristal à l'intérieur de ladite cavité est nécessaire à la réalisation d'une oscillation paramétrique optique, mais est facultative à

la réalisation d'une amplification paramétrique optique ou d'une génération de second ou tierce harmonique. Dans ce dernier cas, elle vise en effet à augmenter les rendements de génération. Le dispositif selon l'invention peut alors fonctionner respectivement en tant qu'oscillateur paramétrique optique, ou en tant qu'amplificateur paramétrique optique, ou en tant que générateur de second ou tierce harmonique.

Selon un aspect de ce mode avantageux de réalisation, ladite cavité comporte au moins une surface réfléchissante entrée (recevant le ou les rayonnement(s) incident(s)) et au moins une surface réfléchissante sortie (recevant le ou les rayonnement(s) émergent(s)) en regard l'une de l'autre permettant la résonance d'au moins une des ondes en interaction. La géométrie de ladite cavité est définie en fonction des propriétés spécifiques de réfraction des dioptres à volume cylindrique de révolution de cristaux à propriétés optiques anisotropes, en particulier vis-à-vis de l'angle de double réfraction ρ, l'angle entre le vecteur de Poynting et le vecteur d'onde. Les coefficients de réflexion des surfaces réfléchissantes entrée et sortie sont tels que la cavité puisse être résonante soit à une, soit à deux, soit à trois, soit, le cas échéant, à quatre ondes en interaction.

En particulier ladite surface réfléchissante entrée est choisie parmi le groupe constitué par une surface réfléchissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure, avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité. La distance entre la surface réfléchissante entrée et ledit cristal est adaptée de façon à réaliser la (les) résonance(s) recherchée(s).

Si au moins une des ondes en résonance a un angle de

double réfraction ρ non nul, ladite surface réfléchissante sortie est placée à une distance d dudit cristal et présente un rayon de courbure R, avec une concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, de façon à ce que les faisceaux aller et retour de l'onde (ou des ondes) en résonance soient confondus. Les valeurs de d et de R répondent avantageusement à l'équation R = d-L avec d supérieur à L pour une concavité orientée du côté dudit cristal, ou à l'équation R = L-d avec d inférieur à L pour une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, avec L défini par $L = R_c (\cos(2\rho) - (\sin(2\rho) / \tan(\rho_e)) - 1)$, avec R_c étant le rayon du volume cylindrique de révolution, ρ l'angle de double réfraction, et avec ρ_e défini par $\rho_e = \arcsin(n \sin(2\rho) - 2\rho)$, avec n l'indice de réfraction de ladite au moins une onde dont la résonance est recherchée.

Pour des ondes résonantes présentant un angle de double réfraction ρ nul, ladite surface réfléchissante sortie peut en particulier être choisie parmi une surface réfléchissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure, avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité. La distance entre la surface réfléchissante sortie et ledit cristal est adaptée de façon à réaliser la (les) résonance(s) recherchée(s).

Les géométries de cavité du dispositif selon l'invention permetteant aux faisceaux lasers de faire des allers-retours dans le cristal sans qu'il soit nécessaire d'immerger ce cristal dans un milieu d'adaptation d'indice de réfraction, ou de placer des lentilles entre le cristal

et les miroirs de la cavité. Ainsi, dans la présente invention, le niveau de pertes par réfraction, diffraction, diffusion et absorption est plus faible que s'il y avait un liquide d'adaptation d'indice de réfraction autour du cristal et/ou des lentilles entre le cristal et les miroirs de la cavité. Du fait d'un niveau de pertes plus faible, le seuil d'oscillation de la cavité est plus bas, c'est-à-dire que les faisceaux peuvent être générés dans le cristal non-linéaire avec une plus faible intensité du faisceau incident sur le miroir d'entrée de la cavité.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit dispositif comprend en outre des moyens pour le contrôle thermostatique dudit cristal. De tels moyens permettent notamment de stabiliser l'efficacité des interactions ou d'étendre la gamme spectrale accessible. Ledit cristal est alors avantageusement maintenu à une température inférieure ou supérieure de la température ambiante.

Selon encore un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit dispositif comprend en outre des moyens permettant d'appliquer un champ électrique statique ou de basse fréquence à l'intérieur dudit cristal.

La géométrie du cristal, élément du dispositif selon l'invention, permet en effet aisément de coupler au rayonnement laser un champ électrique statique ou de basse fréquence pour moduler l'efficacité des interactions ou pour modifier, et en particulier augmenter, la gamme spectrale accessible (*via* l'effet électro-optique). Ledit dispositif peut ainsi en outre comprendre une paire d'électrodes placées sur des faces opposées dudit cristal.

Le dispositif selon l'invention présente de nombreuses applications, en particulier les applications civiles ou militaires des rayonnements optiques accordables en fréquence. Il constitue ainsi de manière

avantageuse, un élément choisi parmi le groupe constitué par un élément de spectroscope, un élément de système de télédétection, un élément de système de télétransmission, un élément de système de téléguidage, un élément de système LIDAR (*Light Detection And Ranging*), un élément de système de contre-mesures optroniques.

La présente invention vise également une méthode pour la génération d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) accordable(s) au moins en fréquence, caractérisé en ce qu'elle met en œuvre un dispositif selon l'invention.

Une méthode avantageuse selon l'invention comprend notamment :

i. générer un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) comprenant chacun une ou plusieurs composante(s) spectrale(s),

ii. diriger ledit (ou lesdits) rayonnement(s) optique(s) en tant que rayonnement(s) optique(s) incident(s) vers un dit cristal en incidence normale sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant (indépendamment les unes des autres) un volume cylindrique de révolution, de manière à générer hors dudit cristal

- une fréquence correspondant soit à un multiple (double, triple) d'une fréquence dudit (ou desdits) rayonnement(s) incident(s), soit à la somme de, ou à une différence entre des fréquences dudit (ou desdits) rayonnement(s) incident(s), ou bien encore

- plusieurs fréquences dont la somme correspond à une fréquence comprise dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s),

iii. le cas échéant, répéter les points **i.** et **ii.** ci-dessus après rotation appropriée dudit cristal autour de son axe de révolution ou rotation dudit (desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) autour dudit cristal dans un plan orthogonal à l'axe de révolution dudit

cristal.

Selon un mode de mise en oeuvre préféré de cette méthode avantageuse selon l'invention, ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) est un rayonnement laser choisi parmi le groupe constitué par un rayonnement laser comportant une (des) fréquence(s) fixe(s) et un rayonnement laser comportant une (des) fréquence(s) accordable(s).

Un mode de réalisation particulièrement préféré de cette méthode avantageuse selon l'invention comprend en outre l'application d'un champ électrique à l'intérieur dudit cristal, de manière à produire un effet électro-optique.

Dans la présente demande, il est fait référence aux figures 1 à 13 :

- la figure 1 représente, sur un cylindroïde 2, le système d'axes orthonormés (x, y, z) et les coordonnées sphériques (θ,Φ) d'une direction quelconque,

- la figure 2 illustre différentes formes 1,2,3,4,5 de réalisation d'un cristal faisant partie du dispositif selon l'invention, les surfaces hachurées représentent les surfaces dudit cristal sur lesquelles peuvent avantageusement être placees des électrodes (effet électro-optique), chaque référence 1,2,3,4,5 désigne un volume qui peut être à section circulaire ou elliptique, chaque cristal est placé entre deux lentilles L_1 et L_2,

- la figure 3 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 1 présentant un volume cylindrique de révolution de manière complète,

- la figure 4 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 3 présentant un volume cylindrique de révolution de manière

tronquée sur deux cadrans d'écart angulaire $\delta\alpha$ opposés et symétriques (cylindre tronqué),

- la figure 5 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre trois couples de lentilles (L_{1i}, L_{1e}), (L_{2i}, L_{2e}), et (L_{3i}, L_{3e}), un cristal à propriété optique non linéaire 1 présentant un volume cylindrique de révolution de manière complète,

- la figure 6 représente un dispositif selon l'invention comprenant un cristal à propriété optique non linéaire 1 placé entre deux lentilles L_1 et L_2, et placé à l'intérieur d'une cavité présentant deux surfaces réfléchissantes (ou miroirs) entrée et sortie permettant la résonance de l'onde à vecteurs de Poynting P_1,

- les figures 7 et 8 représentent un dispositif selon l'invention comprenant un cristal à propriété optique non linéaire 1 placé entre deux lentilles L_1 et L_2 et placé à l'intérieur d'une cavité présentant deux surfaces réfléchissantes (ou miroirs) entrée et sortie permettant la résonance de deux ondes a vecteurs d'ondes de Poynting respectifs P_1 et P_2 ; sur la figure 7, le miroir d'entrée est plan, le miroir de sortie présente un rayon de courbure R avec la concavité du côté du cristal 1 ; sur la figure 8, le miroir d'entrée est plan, le miroir de sortie présente un rayon de courbure R avec la concavité du côté opposé au cristal 1,

- la figure 9 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 1 présentant un volume cylindrique de révolution de manière complète et présentant le long de la direction de propagation d'une interaction recherchée, un coefficient non linéaire effectif de signe alterné (+, -) selon le vecteur de périodicité V et avec une période Δ (réseau plan périodique pour quasi-accord de phase),

- la figure 10 représente un dispositif selon

l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 1 à section circulaire adapté au quasi-accord de phase et comprenant deux zones concentriques : une zone centrale à réseau plan périodique (modulation (+,-) du signe du coefficient non-linéaire effectif) et une zone couronne c monocristalline dont le coefficient non linéaire effectif n'est pas alterné (+ ou -),

- la figure 11 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 1 à section elliptique adapté au quasi-accord de phase, et comprenant un réseau elliptique dont le coefficient non-linéaire effectif est à signe alterné (+,-) selon une périodicité Δ pouvant varier de Δ_{min} à Δ_{max} sur deux sections angulaires d'ouverture β,

- la figure 12 représente un dispositif selon l'invention comprenant, place entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 5 à section elliptique adapté au quasi-accord de phase, correspondant à une portion d'ellipse d'ouverture β comprise entre 0° et 180° où est inscrit un réseau dont la période peut varier de Δ_{min} à Δ_{max},

- la figure 13 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non-linéaire 1 à réseau circulaire périodique dont les indices de réfraction n+ ou n-, varient en fonction de la direction de propagation dans un plan donné.

EXEMPLES

Exemple 1. Calcul des directions d'accord de phase par biréfringence

L'accord de phase par biréfringence permet l'optimisation de l'efficacité des interactions paramétriques optiques. Dans le cas des cristaux où la dispersion en pulsation ($\omega=2\pi\nu$ où ν est la fréquence) des indices (n) de réfraction est dite "normale", à savoir $n(\omega_i)<n(\omega_j)$ lorsque $\omega_i<\omega_j$, et pour des interactions où les vecteurs d'ondes des ondes couplées sont colinéaires, les différentes relations d'accord de phase possibles sont les suivantes :

- pour les interactions à 3 ondes de pulsations ω_1, ω_2 et ω_3 (avec $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$)

$$\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) = \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) \qquad (1a)$$

$$\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^-(\omega_2,\theta,\phi) = \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) \qquad (1b)$$

$$\omega_1\, n^-(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) = \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) \qquad (1c)$$

- pour les interactions à 4 ondes de pulsations ω_1, ω_2, ω_3 et ω_4 (avec $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = \omega_4$)

$$\begin{aligned}
&\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^+(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)\\
&\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^-(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)\\
&\omega_1\, n^-(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)\\
&\omega_1\, n^-(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^-(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^+(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi) \qquad (2)\\
&\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^-(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)\\
&\omega_1\, n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^-(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^+(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)\\
&\omega_1\, n^-(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) + \omega_3\, n^+(\omega_3,\theta,\phi) = \omega_4\, n^-(\omega_4,\theta,\phi)
\end{aligned}$$

Pour des interactions où les vecteurs d'onde des ondes couplées sont non colinéaires, les combinaisons d'indices de réfraction n^+ et n^- sont identiques aux cas colinéaires

mais avec des coefficients différents : pour les interactions à 3 ondes, ω_1 est remplacé par $\omega_1 \cos[\alpha_{13}(\theta,\Phi)]$ et ω_2 est remplacé par $\omega_2 \cos[\alpha_{23}(\theta,\Phi)]$; pour les interactions à 4 ondes, ω_1 est remplacé par $\omega_1 \cos[\alpha_{14}(\theta,\Phi)]$, ω_2 est remplacé par $\omega_2 \cos[\alpha_{24}(\theta,\Phi)]$ et ω_3 est remplacé par $\omega_3 \cos[\alpha_{34}(\theta,\Phi)]$, avec α_{ij} étant l'angle entre les vecteurs d'onde à ω_i et ω_j ($i = 1$ ou 2 si $j = 3$; $i = 1$ ou 2 ou 3 si $j = 4$). Par exemple, dans le cas des interactions à 3 ondes, la projection des relations vectorielles d'accord de phase sur la direction du vecteur d'ondes k_3 transforme la relation (1a) en :

$$\omega_1 \cos[\alpha_{13}(\theta,\phi)]n^+(\omega_1,\theta,\phi) + \omega_2 \cos[\alpha_{23}(\theta,\phi)]\, n^+(\omega_2,\theta,\phi) = \omega_3 n^-(\omega_3,\theta,\phi) \qquad (3)$$

où α_{13} (α_{23}) sont les angles entre les vecteurs d'ondes à ω_1 et ω_3 (ω_2 et ω_3) respectivement. (θ,ϕ) sont les coordonnées sphériques de la direction d'accord de phase considérée dans le repère optique (x, y, z) qui est liée au cristal non linéaire. La figure 1 illustre la disposition des axes (x, y, z) et les coordonnées sphériques (θ,ϕ) d'une direction quelconque. La section (xy) peut être circulaire ou elliptique. Les coordonnées sphériques (θ,ϕ) sont reliées aux coordonnées cartésiennes (U_x, U_y, U_z) par :

$$U_x = \cos\phi \sin\theta \; ; \; U_y = \sin\phi \sin\theta \; ; \; U_z = \cos\theta$$

$n^+(\omega,\theta,\phi)$ et $n^-(\omega,\theta,\phi)$ sont les solutions de l'équation de Fresnel et sont données par :

$$n^{\pm} = \left(\frac{2}{-B \mp (B^2 - 4C)^{1/2}} \right)^{1/2} \qquad (4)$$

$$B = -u_x^2(b+c) - u_y^2(a+c) - u_z^2(a+b) \qquad C = u_x^2 bc + u_y^2 ac + u_z^2 ab$$
$$a = n_x^{-2}(\omega), \qquad b = n_y^{-2}(\omega), \qquad c = n_z^{-2}(\omega)$$

La surface $n^{\pm}(\theta,\phi)$ est appelée surface des indices. $n_x(\omega)$,

$n_1(\omega)$ et $n_2(\omega)$ sont les indices principaux de refraction à la pulsation ω. Les indices principaux de réfraction aux pulsations des ondes en interaction sont des paramètres nécessaires à la resolution des équations d'accord de phase (1), (2) et (3) ; ils sont donnés par des équations de Sellmeier à 4, 5 ou 6 coefficients. Les equations de Sellmeier des cristaux ci-après considérés dans les exemples 2, 3, 4 et 5 sont données ici à température ambiante. Elles sont déterminées à partir de plusieurs mesures d'indices de réfraction à différentes longueurs d'ondes λ (λ est exprimé en µm dans les équations (5) à (11)).

KTiOPO$_4$:

$$n_x^2(\lambda) = 2.1239 + \frac{0.14274\,\lambda^2}{\lambda^2 - 18.477} + \frac{0.87370\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.045906}$$

$$n_y^2(\lambda) = 2.0649 + \frac{0.15529\,\lambda^2}{\lambda^2 - 19.373} + \frac{0.95463\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.045505} \qquad (5)$$

$$n_z^2(\lambda) = 1.6539 + \frac{0.34767\,\lambda^2}{\lambda^2 - 29.378} + \frac{1.6482\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.038825}$$

RbTiOPO$_4$:

$$n_x^2(\lambda) = 2.15559 + \frac{0.93307\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.044075} - 0.01452\,\lambda^2$$

$$n_y^2(\lambda) = 2.38494 + \frac{0.73603\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.057078} - 0.01583\,\lambda^2 \qquad (6)$$

$$n_z^2(\lambda) = 2.27723 + \frac{1.11030\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.055009} - 0.01995\,\lambda^2$$

RbTiOAsO$_4$:

$$n_x^2(\lambda) = 2.04207 + \frac{1.17785\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.040630} - 0.01035\,\lambda^2$$

$$n_y^2(\lambda) = 2.14941 + \frac{1.09267\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.046062} - 0.01067\,\lambda^2 \qquad (7)$$

$$n_z^2(\lambda) = 2.18962 + \frac{1.30103\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.052025} - 0.01390\,\lambda^2$$

$CsTiOAsO_4$:

$$n_x^2(\lambda) = 2.34498 + \frac{1.04863\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.048594} - 0.01483\,\lambda^2$$

$$n_y^2(\lambda) = 2.74440 + \frac{0.70733\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.067772} - 0.01526\,\lambda^2 \qquad (8)$$

$$n_z^2(\lambda) = 2.53666 + \frac{1.10600\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.062440} - 0.01711\,\lambda^2$$

$KTiOAsO_4$:

$$n_x^2(\lambda) = 2.8049 + \frac{0.35190\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.098915} - \frac{0.27186\,\lambda^2}{\lambda^2 + 15.798}$$

$$n_y^2(\lambda) = 2.8077 + \frac{0.37614\,\lambda^2}{\lambda^2 - 0.093917} - \frac{0.22531\,\lambda^2}{\lambda^2 + 8.6981} \qquad (9)$$

$$n_z^2(\lambda) = 3.8510 + \frac{0.81874\,\lambda^2}{\lambda^2 - 86.976} - \frac{0.44017\,\lambda^2}{\lambda^2 + 0.28229}$$

$LiNbO_3$:

$$n_o^2(\lambda) = 4.9048 + \frac{0.11775}{\lambda^2 - 0.047533} - 0.027153\,\lambda^2 \qquad (10)$$

$$n_e^2(\lambda) = 4.5820 + \frac{0.09921}{\lambda^2 - 0.044479} - 0.021940\,\lambda^2$$

$LiTaO_3$:

$$n_e^2(\lambda) = 4.5284 + \frac{0.0095478}{\lambda^2 - 0.060858} + \frac{0.077690}{\lambda^2 - 0.033782} - 0.023670\,\lambda^2 \qquad (11)$$

$n_o^2(\lambda)$ non mesuré (non sollicité)

Pour une interaction donnée, caractérisée par les pulsations des ondes en interaction, il existe un ensemble de directions d'accord de phase, c'est-à-dire de couples (θ,ϕ) qui sont solutions de la même équation d'accord de phase. De plus, ces différentes directions d'accord de phase ne sont pas equivalentes du point de vue de l'efficacité d'interaction. D'autre part, les directions d'accord de phase sont différentes d'une interaction à l'autre. Ainsi, un plan d'orientation quelconque contient un ensemble de directions d'accord de phase. Les plans intéressants pour la presente invention sont en particulier certains plans de symétrie de la surface des indices. Ces plans sont orthogonaux à l'axe de revolution du cylindre.

Pour un cristal uniaxe, défini par n=n=n, les plans

utiles sont les plans orthogonaux au plan (xy), c'est-à-dire à angle ϕ constant : chacun de ces plans contient des directions d'accord de phase symétriques 2 à 2 par rapport à l'axe z, et chacun de ces couples correspond à une interaction particulière. Les différents plans, correspondant aux différentes valeurs de ϕ, présentent la même gamme spectrale d'accord de phase mais se distinguent par l'efficacité d'interaction.

Pour un cristal biaxe, défini par $n_x \neq n_y \neq n_z$, les trois plans principaux (xy), (xz) et (yz) sont intéressants. Le plan (xy) contient des directions d'accord de phase symétriques 2 à 2 par rapport à x et y, chacun des couples correspondant à une interaction spécifique. Les plans (xz) et (yz) possèdent la même symétrie que les plans d'un cristal uniaxe contenant l'axe z décrits précédemment. Les trois plans (xy), (xz) et (yz) du cristal biaxe ne présentent pas les mêmes gammes spectrales d'accord de phase.

Exemple 2 Formes du cristal non linéaire

La figure 2 illustre différentes formes de réalisation d'un cristal faisant partie du dispositif selon l'invention, les surfaces hachurées représentent les surfaces dudit cristal sur lesquelles peuvent avantageusement être placées des électrodes (pour l'effet électro-optique). Les références 1 et 2 désignent chacune un cristal à propriété optique non linéaire présentant un volume cylindrique de révolution de manière complète (référence 1 : cylindre ; référence 2 : cylindroïde), les références 3 et 4 désignent un cristal à propriété optique non linéaire presentant un volume cylindrique de révolution de manière tronquée sur des cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution, (référence 3 : cylindre tronqué ; référence 4 : cylindroïde tronqué), la référence 5 désigne un cristal à

propriété optique non linéaire correspondant à une portion desdits volumes 1 ou 2 selon des plans contenant l'axe de révolution (référence 5 : cylindre ou cylindroïde partiel). Lesdits volumes de cylindre 1 ou de cylindroïde 2 peuvent être à section circulaire, ou à section elliptique ; une telle section peut être notamment considérée selon un plan orthogonal à l'axe de révolution. Des électrodes peuvent être avantageusement placées de part et d'autre d'un cristal selon différentes dispositions, elles sont représentées en figure 2 par une paire de surfaces hachurées. Pour les cristaux de volume 3 ou 4, deux de ces dispositions sont illustrées : paire d'électrodes orientées horizontalement, ou paire d'électodes orientées verticalement.

Exemple 3 Disposition et géométrie des éléments de focalisation et collection des rayonnements

Le (ou les) rayonnement(s) incident(s) est (sont) focalisé(s) sur le cristal par une (ou des) lentille(s) ou par un miroir à concavité orientée du côté dudit cristal ou par un miroir a concavité orientée du côté opposé dudit cristal. Le (ou les) rayonnement(s) émergent(s) est (sont) collecté(s) par une (ou des) lentille(s) ou par un miroir à concavité orientée du côté dudit cristal ou par un miroir à concavité orientée du côté opposé dudit cristal, indépendant(s) du dispositif de focalisation.

La distance focale du dispositif de focalisation est telle que le (ou les) rayonnement(s) incident(s) a (ont) une dimension faible par rapport au rayon du cristal pour limiter les aberrations optiques et augmenter l'efficacité d'interaction, et que cette dimension soit suffisante pour éviter un endommagement du cristal par une intensité incidente trop importante. La distance focale du dispositif collectant le rayonnement émergent est telle que la divergence de ce rayonnement émergent est minimale.

Ces distances focales sont comprises entre 50 et 500mm environ. Les figures 3 et 4 illustrent la réalisation d'un dispositif selon l'invention où un seul rayonnement incident est focalisé sur le cristal. La figure 3 représente un dispositif selon l'invention comprenant un cristal à propriété optique non linéaire 1 presentant un volume cylindrique de révolution de manière complète et une distance focale f. Ce cristal est capable d'une rotation d'un angle α pouvant aller de 0° à 360°. Il est placé entre deux lentilles L_1 et L_2 de distances focales respectives f_1 et f_2.

La figure 4 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 3 présentant un volume cylindrique de révolution de manière tronquée sur deux cadrans d'écart angulaire $\Delta\alpha$ opposés et symétriques.

La figure 5 illustre la réalisation d'un dispositif selon l'invention ou trois rayonnements incidents sont focalisés sur le cristal. Le cristal à propriété optique non linéaire 1 présente un volume cylindrique de révolution de manière complète. Il est placé entre six lentilles convergentes ; L_{1i}, L_{2i}, L_{3i}, sont les lentilles servant à focaliser les différents rayonnements incidents ; L_{1e}, L_{2e}, L_{3e}, sont les lentilles servant à collecter les différents rayonnements émergents.

Exemple 4 Calcul général d'une cavité

Dans le cas des interactions résonantes, le cristal est placé à l'intérieur d'une cavité. La géométrie de la cavité, rayon de courbure des miroirs R et distances séparant les miroirs du cristal d, est définie en fonction des propriétés spécifiques de réfraction des dioptres cylindriques de cristaux à propriétés optiques anisotropes, en particulier vis-à-vis de l'angle de double

réfraction ρ, l'angle entre le vecteur de Poynting (le faisceau) et le vecteur d'onde (l'onde). Les coefficients de réflexion des miroirs d'entrée et de sortie sont tels que la cavité puisse être résonante soit à une, soit a deux, soit à trois ondes, soit à quatre ondes en interaction.

Le miroir recevant le rayonnement incident, appelé miroir d'entrée, peut être plan. Afin d'optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité, le miroir d'entrée peut avoir un rayon de courbure adapté (par exemple sphérique, cylindrique ou parabolique), avec la concavité du côté du cristal non linéaire ou du côté opposé du cristal non linéaire.

Si les ondes résonantes ont un angle de double réfraction nul, le miroir recevant le rayonnement émergent, appelé miroir de sortie, peut être plan comme le montre la figure 6.

La figure 6, représente un dispositif selon l'invention comprenant un cristal à propriété optique non linéaire 1 placé entre deux lentilles L_1 et L_2, et placé à l'intérieur d'une cavité présentant deux surfaces réfléchissantes (ou miroirs) entrée et sortie permettant la résonance de l'onde dont le vecteur de Poynting est P_1. Les lentilles sont placées à l'extérieur de la cavité. Le schéma de la figure 6 fait apparaître uniquement deux types de faisceaux : le faisceau représenté par le vecteur de Poynting P_1, résonant, dont l'angle ρ est nul, et le faisceau représenté par le vecteur de Poynting P_2, non résonant, avec ρ non nul. Les vecteurs d'onde associés à P_1 et P_2 sont colinéaires à P_1. Seul un aller-retour de cavité est figuré : sens + pour l'aller, sens - pour le retour. Afin d'optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité, le miroir de sortie peut avoir un rayon de courbure adapté (par exemple sphérique, cylindrique ou parabolique), avec la concavité du côté du cristal non

linéaire ou avec la concavité orientée du côté opposé du cristal non linéaire.

Si au moins une des ondes en résonance a un angle de double réfraction ρ non nul, le miroir de sortie est sphérique ou cylindrique, de rayon R. Le choix de l'orientation, par rapport au cristal, et de la grandeur du rayon de courbure R ainsi que de la distance d séparant le cristal du miroir de sortie dépend du paramètre géométrique L de telle sorte que les faisceaux aller et retour de l'onde en résonance soient confondus comme le montrent les figures 7 et 8.

Les figures 7 et 8 représentent en effet un dispositif selon l'invention comprenant un cristal à propriété optique non linéaire 1 placé entre deux lentilles L_1 et L_2 et placé à l'intérieur d'une cavité présentant deux surfaces réfléchissantes (ou miroirs) entrée et sortie permettant la résonance de deux ondes à vecteurs d'ondes colinéaires à P_1, représentées par leurs vecteurs de Poynting respectifs P_1 et P_2 avec P_1 résonant ou non résonant, et tel que l'angle de double réfraction ρ correspondant est nul, avec P_2 résonant tel que l'angle de double réfraction ρ correspondant est non nul. Les lentilles sont placées à l'extérieur de la cavité. Sur la figure 7, le miroir d'entrée est plan, le miroir de sortie présente un rayon de courbure R avec la concavité du côté du cristal 1 ; sur la figure 8, le miroir d'entrée est plan, le miroir de sortie présente un rayon de courbure R avec la concavité du côté opposé au cristal 1.

Le paramètre L est défini par :

$$L = R_c\left[\cos 2\rho + \frac{\sin 2\rho}{\tan \rho_e} - 1\right] \qquad (12)$$

$$\text{avec } \rho_e = \arcsin\left(n \sin 2\rho\right) - 2\rho \qquad (13)$$

n est l'indice de réfraction de l'onde en résonance dont l'angle ρ est non nul.

Les figures 7 et 8 font apparaître uniquement deux types de faisceaux : le faisceau P_1, résonant ou non, dont la polarisation est telle que l'angle ρ est nul, et le faisceau P_2, résonant, avec ρ non nul. Les vecteurs d'onde associés à P_1 et P_2 sont colinéaires à P_1. Seul un aller-retour de cavité est figuré : sens + pour l'aller, sens - pour le retour.

La figure 7 concerne un miroir de sortie dont la concavité est orientée du côté du cristal. Pour une valeur de d donnée, le rayon de courbure R est défini par :

$$R = d - L \qquad \text{avec } d > L \qquad (14)$$

L est donné par les relations (12) et (13).

La figure 8 concerne un miroir de sortie dont la concavité est orientée du côté opposé au cristal.

Pour une valeur de d donnée, le rayon de courbure R est défini par :

$$R = L - d \qquad \text{avec } d < L \qquad (15)$$

L est donné par les relations (12) et (13).

Le rapport L/R_e est constant à 10^{-3} près pour des valeur de ρ comprises entre 0° et 2°, qui sont des valeurs typiques des principaux cristaux utilisables pour les interactions paramétriques. La variation de L/R_e est de l'ordre de 10^{-2} lorsque ρ varie de 2° à 3°. Ainsi pour ces cas de fort angle de double réfraction, les trajets des faisceaux aller et retour sont confondus si le miroir de sortie présente une courbure adaptée, non sphérique et non cylindrique, qui tient compte des valeurs de L et ρ correspondant à la plage spectrale utilisée ; un tel miroir peut être employé afin d'optimiser la stabilité et le seuil d'oscillation de la cavité.

Pour un miroir de rayon de courbure R donné, la configuration selon la figure 8 n'est envisageable que si le rayon du cylindre est supérieur à une valeur minimale.

$$Rc > \frac{R}{\cos 2\rho + \frac{\sin 2\rho}{\tan \rho_e} - 1} \qquad (16)$$

tel que d (=L-R) soit positif.

Lorsque les deux configurations des figures 7 et 8 sont envisageables, le cas de la figure 8 conduit à une longueur totale de la cavité ($2R_c$+L pour deux miroirs entrée et sortie de même rayon de courbure) plus courte que la configuration de la figure 7 ($2R_c$+L+2R). Pour des rayonnements à impulsions temporelles courtes, une cavité de faible longueur permet une conversion plus efficace.

Exemple 5. Oscillateur Paramétrique Optique (OPO) en accord de phase par biréfringence

Dans le cas d'une interaction à 3 ondes de pulsations respectives ω_1 , ω_2 et ω_3 avec $\omega_3=\omega_1+\omega_2$, le rayonnement laser incident, appelé "pompe" a une longueur d'onde $\lambda_p=2\pi c/\omega_3$, où c est la vitesse de la lumière dans le vide ω_3 la plus grande des trois pulsations des ondes en interaction. Les deux pulsations des ondes émises dans l'OPO sont appelées "signal" et "complémentaire", de longueurs d'onde respectives $\lambda_s=2\pi c/\omega_2$ et $\lambda_i=2\pi c/\omega_1$, telles que $\omega_1+\omega_2=\omega_3$ et $\omega_1 < \omega_2$. Le tableau 1 ci-dessous donne, pour λ_p=0,532µm et λ_p=1,064µm, la plage de longueurs d'onde du signal $\Delta\lambda_s$ et du complémentaire $\Delta\lambda_i$, qu'il est possible de générer en accord de phase par biréfringence pour une rotation totale $\delta\alpha$ à partir de l'angle minimum d'accord de phase α_{min}, des cylindres de plusieurs cristaux à

propriétés optiques non linéaires : $KTiOPO_4$ (KTP), $CsTiOAsO_4$ (CTA), $RbTiOPO_4$ (RTP), $RbTiOAsO_4$ (RTA), $KTiOAsO_4$ (KTA), $LiNbO_3$. L'axe de révolution, X, Y ou Z, est un axe du repère optique, défini dans l'exemple 1. Pour une rotation autour de l'axe Z, α est l'angle ϕ des coordonnées sphériques ; pour une rotation autour des axes Y ou X, α correspond à l'angle θ des coordonnées sphériques. $\delta\alpha$ et α_{min} sont calculés à partir des relations d'accord de phase et des équations de Sellmeier de l'exemple 1.

Chaque cristal, usiné en cylindre complet 1, en cylindre tronqué 3 ou en cylindre partiel 5 (*cf.* figure 2), est placé à l'intérieur d'une cavité résonante telle que ci-dessus définie en exemple 1 (lentilles à l'extérieur de cavité).

Tableau 1

Cristal	λp (μm)	$\Delta\lambda s$ (μm)	$\Delta\lambda i$ (μm)	Axe de rotation du cylindre	Angle de rotation Δa(°)	αmin (°)
$KTiOPO_4$	0,532 (-)	0,62 - 1,04 (+)	1,09 - 3,5 (-)	Y	46	44
$KTiOPO_4$	1,064 (-)	1,53 - 2,12 (+)	2,13 - 3,5 (-)	Y	7	45,5
$CsTiOAsO_4$	0,532 (-)	0,59 - 0,74 (+)	1,9 - 5,2 (-)	Y	39	51
$CsTiOAsO_4$	1,064 (-)	1,33 - 2,12 (+)	2,13 - 5,2 (-)	Y	15	61,5
$RbTiOAsO_4$	0,532 (-)	0,59 - 0,855 (+)	1,41 - 5,2 (-)	Y	49	41
$RbTiOAsO_4$	1,064 (-)	1,33 - 2,12 (+)	2,13 - 5,2 (-)	Y	9,3	44,6
$RbTiOPO_4$	0,532 (-)	0,62 - 0,95 (+)	1,21 - 3,5 (-)	Y	45	45
$RbTiOPO_4$	1,064 (-)	1,52 - 2,12 (+)	2,13 - 3,5 (-)	Y	8,3	49,5
$LiNbO_3$	0,532 (-)	0,59 - 0,70 (+)	2,2 - 5,2 (-)	Y (ou X)	40	50
$LiNbO_3$	1,064 (-)	1,33 - 2,12 (+)	2,13 - 5,2 (-)	Y (ou X)	21	57
$KTiOPO_4$	0,532 (-)	0,95 - 1,06 (-)	1,06 - 1,2 (+)	Z	67	23
$KTiOPO_4$	1,064 (-)	1,52 - 1,58 (-)	3,26 - 3,5 (+)	Z	90	0
$CsTiOAsO_4$	0,532 (-)	0,74 - 0,84 (+)	1,45 - 1,9 (-)	Z	90	0
$CsTiOAsO_4$	1,064 (-)	1,7 - 2,0 (-)	2,27 - 2,8 (+)	Z	90	0
$RbTiOAsO_4$	0,532 (-)	0,855 - 0,955 (+)	1,2 - 1,41 (-)	Z	90	0
$RbTiOAsO_4$	1,064 (-)	1,54 - 1,61 (-)	3,15 - 3,4 (+)	Z	90	0
$RbTiOPO_4$	0,532 (-)	0,95 - 1,06 (+)	1,06 - 1,21 (-)	Z	60	0
$RbTiOPO_4$	1,064 (-)	1,61 - 1,69 (-)	2,85 - 3,15 (+)	Z	90	0
$KTiOAsO_4$	0,532 (-)	0,96 - 1,04 (+)	1,08 - 1,19 (-)	Z	90	0
$KTiOAsO_4$	1,064 (-)	1,55 - 1,60 (-)	3,15 - 3,38 (+)	Z	90	0

(+) et (-) font référence aux indices de réfraction n' et

n° définis dans l'exemple 1, qui interviennent dans la relation d'accord de phase.

Le cas d'un OPO accordable dans la gamme 1,4µm - 5,2µm pour des applications en spectroscopie infrarouge est détaillé ci-après. Le laser de pompe émet un rayonnement à 0,532µm (laser YAG-Nd doublé en fréquence). Un cristal de $RbTiOAsO_4$ est usiné en cylindre partiel 3 (cf figure 2) avec les faces cylindriques polies optiquement. L'axe de révolution est porté par l'axe Y (identique à l'axe cristallographique **b**). Les directions extrêmes de la portion cylindrique sont l'axe X (identique à l'axe cristallographique **a**) d'une part et la direction ($\phi=0°$, $\theta=41°$) d'autre part. La rotation du cristal s'effectue autour de l'axe Y, entre ces deux directions extrêmes, au moyen d'un dispositif de rotation micrométrique motorisé solidaire du cristal.

Le rayon de la portion cylindrique est R_2=10mm. Le cristal est placé entre deux miroirs cylindriques de rayon de courbure R=10mm. Un miroir est totalement réfléchissant pour les longueurs d'ondes de 0,59µm à 0,86µm, le second miroir a un coefficient de réflexion important ($\Re$=90%) pour ces mêmes longueurs d'ondes. Les miroirs sont disposés suivant l'arrangement décrit en figure 8. La longueur totale de la cavité est de 32,5mm avec L=12,5mm et d=2,5mm. Si les miroirs sont disposés suivant l'arrangement décrit en figure 7, la longueur totale de la cavité est de 52,5mm avec L=12,5mm et d=22,5mm.

Exemple 6. Générateur de Second Harmonique (GSH) en accord de phase par biréfringence

Dans le cas d'une interaction à 3 ondes de pulsations respectives ω_1, ω_2 et ω avec $\omega=\omega_1+\omega_2$, le rayonnement incident, appelé "pompe", a une longueur d'onde $\lambda_p=2\pi c/\omega$, avec $\omega = \omega_1 = \omega_2$. La pulsation des ondes émises dans le

GSH est le second harmonique de l'onde pompe, soit de longueur d'onde $\lambda_H = 2\pi c/2\omega$, avec $2\omega = \omega_1$. Le tableau 2 donne, pour une rotation totale $\delta\alpha = 90°$, la plage de longueurs d'onde de pompe $\Delta\lambda_1$ pour lesquelles un accord de phase par biréfringence de la GSH est possible dans des cylindres de plusieurs cristaux à propriétés optiques non linéaires : $KTiOPO_4$ (KTP), $RbTiOAsO_4$ (RTA), $CsTiOAsO_4$ (CTA), $RbTiOPO_4$ (RTP), et $KTiOAsO_4$ (KTA). La rotation s'effectue autour de l'axe Z de ces cristaux (axe cristallographique c qui est l'axe binaire), à partir d'un des axes X ou Y. Les calculs sont effectués à partir des relations d'accord de phase 1c (équivalente à 1c dans le cas de la GSH) de l'exemple 1. Chaque cristal, usiné en cylindre complet 1, en cylindre tronqué 3 ou en cylindre partiel 5 (*cf.* figure 2) est placé a l'extérieur ou à l'intérieur d'une cavité telle que définie en exemple 4 ci-dessus.

Cristal	$\Delta\lambda_f$ (µm)
$KTiOPO_4$	0,99 - 1,08
$RbTiOAsO_4$	1,14 - 1,25
$CsTiOAsO_4$	1,27 - 1,55
$RbTiOPO_4$	1,04 - 1,15
$KTiOAsO_4$	1,08 - 1,15

Tableau 2

Le cas d'un cylindre de $CsTiOAsO_4$ est détaillé ci-après. L'obtention de rayonnement affiné spectralement entre 0,5µm et 0,7um est très difficile avec les OPO classiques. Pour des applications en spectroscopie dans ce domaine de longueurs d'onde, le doublage de fréquence du rayonnement émis entre 1µm et 1,4µm par un OPO est envisagé. Un cristal de $CsTiOAsO_4$ usiné en cylindre partiel 3 (cf figure 2) avec l'axe binaire Z (axe cristallographique **c**) comme axe de révolution est fixé sur un support de rotation micrométrique motorisé. La face cylindrique du cristal est polie optiquement. Le rayonnement incident, émis entre

1,27µm et 1,55µm par un OPO, est focalisé par une lentille convergente de focale 100mm (placée à l'extérieur de la cavité) dans le cristal de rayon R_c=5mm. Le rayonnement emergent est collecté avec une seconde lentille de focale identique, placée également à l'extérieur de la cavité comme indiqué en exemple 4. Une rotation complète de 90° entre les axes X et Y permet de générer un rayonnement harmonique entre 0,63µm et 0,77µm de façon efficace du fait des angles de double réfraction toujours faibles pour les directions d'accord de phase considérées.

Exemple 7. Quasi-accord de phase : calcul de la longueur de cohérence

L'intérêt du quasi-accord de phase est notamment qu'il peut être réalisé pour des combinaisons de toute solution n^+ ou n^- aux pulsations des ondes en interaction. $n^\pm$ sont donnés par la relation (4) de l'exemple 1.

La longueur de cohérence L_c des interactions paramétriques dans les cristaux à structure alternee périodiquement des exemples 9 et 10 est donnée par la relation suivante dans le cas d'une interaction à trois ondes de pulsations ω_1, ω_2 et ω_3 :

$$L_c = \frac{\pi c}{\omega_3 n(\omega_3) - [\omega_1 n(\omega_1) + \omega_2 n(\omega_2)]} \qquad (17)$$

n est calculé à partir des équations de Sellmeier données dans l'exemple 1. Dans une structure de période 2Lc, l'interaction de conversion de fréquence est en quasi-accord de phase lorsque les indices de réfraction des ondes en interaction $n(\omega_1)$, $n(\omega_2)$ et $n(\omega_3)$ vérifient la relation (17).

Exemple 8. Calcul de la variation de la longueur de cohérence en fonction de l'angle de rotation du cristal dans le cas d'un reseau plan périodique.

La figure 9 représente un dispositif selon l'invention comprenant, placé entre deux lentilles L_1 et L_2, un cristal à propriété optique non linéaire 1 présentant un volume cylindrique de révolution de manière complète, capable de rotation selon un angle α pouvant aller de 0 à 360° et présentant un coefficient non linéaire effectif de signe alterne (+,-) selon le vecteur de périodicité $\vec{V}$. p est la largeur de chaque domaine monocristallin du réseau selon $\vec{V}$. Le rayonnement laser étant considéré fixe, la longueur de cohérence selon la direction de propagation est fonction de l'angle de rotation α. Elle est donnée par la relation suivante :

$$L_c(\alpha) = \frac{p}{\cos \alpha} \qquad (18)$$

La périodicité du réseau varie donc en fonction de α selon la relation suivante :

$$\Delta(\alpha) = 2 \times L_c(\alpha) \qquad (19)$$

Ainsi à chaque angle α correspond une interaction paramétrique particulière $(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ telle que $Lc(\alpha)$ soit égale à un multiple impair de la longueur de cohérence de cette interaction. Ceci permet de réaliser l'accordabilité du dispositif paramétrique. La symétrie de la structure périodique est telle qu'une rotation totale $\delta\alpha$=90° permet d'accéder à toutes les périodicités : $\Delta(\alpha=0°) = 2p$ à $\Delta(\alpha=90°) \rightarrow \infty$. Ainsi, un volume cylindrique de révolution décrit de manière tronquée 3 (cf. figure 2) ou de manière partielle (portion 5 de cylindre) sont également utilisables dans ce cas. Le même raisonnement tient pour un volume de cylindroïde 2 par rapport à un volume de

cylindroïde tronqué 4, et un volume 5 de cylindroïde partiel. Ceci s'applique que la section (xy) soit circulaire ou elliptique.

Exemple 9. Oscillateur Parametrique Optique (OPO) en quasi-accord de phase

Dans le cas d'une interaction à 3 ondes de pulsations respectives ω_1, ω_2 et ω_3 avec $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$, le rayonnement laser incident, appelé "pompe", a une longueur d'onde $\lambda_p = 2\pi c/\omega_3$, où c est la vitesse de la lumière dans le vide et ω_3 la plus grande des trois pulsations des ondes en interaction. Les deux pulsations des ondes émises dans l'OPO sont appelées "signal" et "complémentaire", de longueurs d'onde respectives $\lambda_2 = 2\pi c/\omega_2$ et $\lambda_1 = 2\pi c/\omega_1$, telles que $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$ avec $\omega_1 < \omega_2$. Le tableau 3 ci-dessous donne, pour $\lambda_p = 0{,}532\mu m$ et $\lambda_p = 1{,}064\mu m$, la plage de longueurs d'onde du signal et du complémentaire, respectivement $\Delta\lambda_2$ et $\Delta\lambda_1$, qu'il est possible de générer en quasi-accord de phase pour une rotation totale $\delta\alpha$ du cylindre de plusieurs cristaux à propriété optique non lineaire, $KTiOPO_4$, $CsTiOAsO_4$, $RbTiOAsO_4$, $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, $RbTiOPO_4$ et $KTiOAsO_4$ dont le signe du coefficient effectif est périodiquement alterné sur une longueur de cohérence L_c (*cf* figure 9). Les domaines sont inversés selon l'axe polaire des cristaux qui correspond à l'axe de révolution du cylindre conformément à ce qui est décrit dans les exemples 7 et 8 ci-dessus. L'angle de rotation est repéré par rapport au vecteur de périodicité du réseau V. L'interaction considérée concerne 3 ondes polarisées selon l'axe polaire. Les calculs sont effectués à partir de la relation (17) de l'exemple 7 et des équations de Sellmeier de l'exemple 1.

Chaque cristal, usiné en cylindre complet 1 ou en cylindre tronqué 3 ou en portion 5 de cylindre (cf. figure 2), est

place dans une cavite resonante telle que ci-avant définie en exemple 1. Les trois ondes en interaction ayant un angle de refraction nul, les miroirs d'entree et de sortie de la cavité peuvent être plans.

Matériau	λ_p (µm)	$\Delta\lambda_s$ (µm)	$\Delta\lambda_i$ (µm)	Pas du réseau $V_\Delta = 2L_c$ (µm)	Angle de rotation maximum ζ_{α} (°)
$KTiOPO_4$	0,532	0,62 -1,06	1,06 - 3,5	9,3	50
$KTiOPO_4$	1,064	1,52 - 2,12	2,13 - 3,5	36,5	23
$RbTiOAsO_4$	0,532	0,59 - 1,06	1,06 - 5,2	15,6	57
$RbTiOAsO_4$	1,064	1,33 - 2,12	2,13 - 5,2	34,8	34
$RbTiOPO_4$	0,532	0,62 - 1,06	1,06 - 3,5	8,8	49
$RbTiOPO_4$	1,064	1,52 - 2,12	2,13 - 3,5	32	25
$LiNbO_3$	0,532	0,59 - 1,06	1,06 - 5,2	6,8	56
$LiNbO_3$	1,064	1,33 - 2,12	2,13 - 5,2	25,7	36
$CsTiOAsO_4$	0,532	0,59 - 1,06	1,06 - 5,2	7,9	56
$CsTiOAsO_4$	1,064	1,33 - 2,12	2,13 - 5,2	30	38
$KTiOAsO_4$	0,532	0,59 - 1,06	1,06 - 5,2	8,5	55
$KTiOAsO_4$	1,064	1,33 - 2,12	2,13 - 5,2	29,5	39

Tableau 3

Le cas d'un OPO accordable entre 3µm et 5µm pour des applications en contre mesures optroniques est détaillé ci-après. Une structure de $LiNbO_3$ à domaines ferroélectriques alternés de périodicité 26,26µm est usinée en cylindre tronqué 3 (*cf.* figure 2), avec les faces cylindriques polies optiquement. L'axe de rotation du cylindre est l'axe binaire Z auquel les domaines ferroélectriques sont parallèles. Le vecteur de périodicité de la structure $\overrightarrow{V}$ est perpendiculaire à cet axe et constitue une des directions extrêmes de la portion cylindrique. L'autre direction extrême de la portion cylindrique est située à 40,5° de la première. La structure est fixée sur un support de rotation micrométrique motorisé. La portion de cylindre a un rayon R_c=13mm et une epaisseur de 1mm. Elle est placée au centre d'une cavité formée de deux miroirs cylindriques de rayon de courbure R=15mm dont la concavite est orientee du côte

du cristal. Le premier miroir est totalement réfléchissant pour les longueurs d'ondes comprises entre 1,35µm et 1,65µm, le second miroir a un coefficient de réflexion R=90% pour ces mêmes rayonnements. La longueur totale de la cavité est de 30mm. Le rayonnement laser de pompe est émis à 1,064µm par un laser YAG:Nd. Deux lentilles de focale f=100mm sont placées de part et d'autre de la cavité pour focaliser le rayonnement incident et collecter le rayonnement émergent.

Exemple 10. Générateur de Second Harmonique (GSH) en quasi-accord de phase

Dans le cas d'une interaction à 3 ondes de pulsations respectives ω_1, ω_2 et ω_3 avec $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$, le rayonnement incident, appelé "pompe", a une longueur d'onde $\lambda_P = 2\pi c/\omega$, avec $\omega = \omega_1 = \omega_2$. La pulsation des ondes émises dans le GSH est le second harmonique de l'onde pompe, soit de longueur d'onde $\lambda_H = 2\pi c/2\omega$, avec $2\omega = \omega_3 = \omega + \omega$. Le tableau 4 ci-dessous donne la plage de longueurs d'onde de pompe $\Delta\lambda_P$, correspondant à une rotation totale $\delta\alpha$, pour lesquelles le quasi-accord de phase de la GSH est possible dans des cylindres de plusieurs cristaux à propriétés optiques non linéaires $KTiOPO_4$, $RbTiOAsO_4$, $CsTiOAsO_4$, $RbTiOPO_4$, $KTiOAsO_4$, $LiNbO_3$ et $LiTaO_3$, dont le signe du coefficient effectif est périodiquement alterné sur une longueur de cohérence L_c (*cf.* figure 9). Les domaines sont inversés selon l'axe polaire des cristaux qui correspond à l'axe de révolution du cylindre conformément à ce qui est décrit en exemples 7 et 8 ci-avant. L'angle de rotation est repéré par rapport au vecteur $\vec{V}$ de périodicité du réseau. L'interaction considérée concerne 3 ondes polarisées selon l'axe polaire. Les calculs sont effectués à partir de la relation (17) de l'exemple 7 et les équations de Sellmeier de l'exemple 1.

Chaque cristal, usiné en cylindre complet 1 ou en cylindre tronqué 3 ou en portion 5 de cylindre (cf. figure 2), est placé soit à l'extérieur, soit à l'intérieur d'une cavité telle que ci-avant définie en exemple 4. La figure 6 illustre un tel dispositif lorsque le cristal est placé à l'intérieur d'une telle cavité. Le système optique focalisant et collimatant (lentilles) est alors placé à l'extérieur de cette cavité.

Matériau	$\Delta\lambda_f$ (µm)	Périodicité de la structure $V_\Delta=2L_c$(µm)	Angle de rotation maximum $\delta\alpha$ (°)
$KTiOPO_4$	0,8 - 0,95	3,5	56
$RbTiOPO_4$	0,8 - 0,95	3,15	58
$RbTiOAsO_4$	0,8 - 0,95	3,0	58
$LiNbO_3$	0,75 - 0,95	2,0	64
$LiTaO_3$	0,64 - 0,95	1,3	76
$CsTiOAsO_4$	0,8 - 0,95	2,7	60
$KTiOAsO_4$	0,8 - 0,95	3,0	59

Tableau 4

Par exemple, un cylindre de $LiTaO_3$ à domaines alternés périodiquement peut être utilisé pour générer un rayonnement laser accordable de courte longueur d'onde. La structure a une périodicité de 1,31µm, un rayon R_c=8mm et une épaisseur de 0,5mm. La rotation de la structure s'effectue autour de l'axe binaire Z, sur un support de rotation micrométrique. Elle permet le doublage de fréquence du rayonnement laser incident émis par un laser titane-saphir ou par un OPO accordable.

Exemple 11. Cristal non-linéaire à couronne pour quasi-accord de phase

Pour certains matériaux, notamment pour ceux susceptibles de présenter une fragilité à l'interface entre la zone + et la zone -, il est envisagé de ne pas moduler le signe du coefficient non-linéaire effectif dans la partie périphérique du volume du cylindre ou du cylindroïde. Cette nouvelle disposition du réseau est illustrée par la figure 15.

Le milieu non-linéaire est alors constitué par deux zones concentriques : la zone centrale est modulée (+,-), alors que la zone périphérique (couronne C) a un coefficient non-linéaire effectif non alterné, c'est-à-dire soit +, soit -. Cette couronne peut par exemple présenter une largeur p de 1 mm pour une zone centrale alternée de diamètre 25 mm. L'intérêt de cette couronne est de permettre l'obtention d'une surface polie de bonne qualité.

Exemple 12 Calcul de la variation de la longueur de cohérence en fonction de l'angle de rotation dans le cas d'un réseau elliptique périodique

Il est également envisagé de considérer un réseau elliptique au lieu du réseau plan dans le cas notamment où il y aurait des pertes par réfraction ou diffusion aux interfaces planes des zones + et - en incidence oblique.

La figure 11 décrit un dispositif à réseau courbe elliptique pour le quasi-accord de phase selon la présente invention. Le cylindroïde d'axe de révolution O a un contour elliptique de grand axe OA et de petit axe OB. Dans deux secteurs angulaires en vis à vis d'ouverture β pouvant être entre 0° et 180° sont inscrits des réseaux identiques formés de couronnes elliptiques dont les axes coïncident avec OA et OB. Ces couronnes sont alternativement + et - avec une période donnée selon un rayon de l'ellipse repéré par l'angle α, $\Delta(\alpha)=2L_c(\alpha)$; $\Delta(\alpha)$ varie en fonction de α de Δ_{min} à Δ_{max} permettant ainsi le quasi-accord de phase pour des interactions de conversion de fréquence dont la longueur de cohérence $L_c(\alpha)$ est comprise entre $Lc_{min}=p_{min}$ et $Lc_{max}=p_{max}$. Si α est repéré par rapport au grand axe OA et pour $\beta=90°$, la longueur de cohérence en fonction de α est donnée par la relation suivante:

$$Lc(\alpha)=\frac{1}{\sqrt{\frac{\cos^2\alpha}{p_{max}^2}+\frac{\sin^2\alpha}{p_{min}^2}}} \qquad (20)$$

Ainsi l'accordabilité du dispositif est réalisée par rotation de l'ellipse autour de O. Lorsque les rayonnements se propagent selon un axe α de l'ellipse, ils font un angle $i(\alpha)$ avec la normale de l'élément de surface du réseau qui est donné par la formule suivante:

$$i(\alpha) = \mathrm{Arccos}\left[\frac{\frac{\cos^2\alpha}{p_{max}^2} + \frac{\sin^2\alpha}{p_{min}^2}}{\sqrt{\frac{\cos^2\alpha}{p_{max}^4} + \frac{\sin^2\alpha}{p_{min}^4}}}\right] \qquad (21)$$

Par exemple, on considère un OPO selon la présente invention avec une structure de $LiNbO_3$ à domaines ferroélectriques alternés formant un réseau elliptique avec $p_{min}=26\mu m$ et $p_{max}=31,75\mu m$. L'angle d'incidence $i(\alpha)$ calculé à partir de la formule (21) est égal à 0° selon le grand axe (α=0°) ou selon le petit axe (α=90°) et il atteint une valeur maximale de l'ordre de 11° au voisinage de α=45°. Lorsque ce dispositif est pompé à $\lambda_p=1,064\mu m$, la rotation de l'ellipse d'un angle α compris entre 0° et 90° permet de générer un rayonnement à λ_s compris entre 1,33µm et 2,12µm et une rayonnement à λ_i compris entre 2,13µm et 5,2µm. Plus $i(\alpha)$ est grand et plus importantes sont les pertes à l'interface. Ainsi l'avantage du réseau elliptique par rapport au réseau plan apparaît bien ici puisque, pour le même OPO mais à réseau plan décrit à la ligne 8 du tableau 3, l'angle de rotation $\delta\alpha$ qui est aussi l'angle d'incidence par rapport à la normale du réseau plan atteint une valeur maximale de 36°.

La figure 12 concerne un dispositif dérivé de celui de la figure 11: le milieu non-linéaire est réduit à une portion d'ellipse d'ouverture β comprise entre 0° et 180° où est inscrit un réseau dont la période varie de Δ_{max} à Δ_{min}. S_1 et S_2 sont les deux contours courbes du milieu non-linéaire. L'accordabilité du dispositif est obtenue par rotation de la portion d'ellipse autour du point O.

Exemple 13. Calcul de la variation de la longueur de cohérence en fonction de l'angle de rotation dans le cas d'un réseau circulaire périodique

Les exemples 7, 8, 9 et 10 concernent des matériaux dont l'indice de réfraction peut varier ou ne pas varier en fonction de α.

La figure 13 concerne un dispositif spécifique aux cristaux dont les indices de réfraction, n^+ ou n^- définis dans la formule (4) de l'exemple 1, varient en fonction de la direction de propagation dans un plan donné : c'est le cas dans un plan quelconque d'un cristal biaxe ou dans les plans principaux (xz) et (yz) d'un cristal uniaxe définis dans l'exemple 1. Le cristal non-linéaire est usiné en cylindre dont le plan est un des plans décrits précédemment de sorte que l'indice de réfraction varie continuement d'un rayon à l'autre. Dans le cylindre est inscrit un réseau, formé de couronnes circulaires concentriques de largeur p, dont la périodicité $\Delta = 2p$ est constante quel que soit le rayon considéré, repéré par l'angle α. L'accordabilité du dispositif est cependant possible grâce à la variation de l'indice de réfraction en fonction du rayon selon lequel se propagent les rayonnements. Ainsi la longueur de cohérence dépend de α. Par exemple, pour une interaction paramétrique à 3 ondes de pulsation $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, telles que $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$, la longueur de cohérence $Lc(\alpha)$ est donnée par la relation suivante :

$$Lc(\alpha) = \frac{\pi\, c}{\omega_3\, n(\omega_3,\alpha) - [\,\omega_1\, n(\omega_1,\alpha) + \omega_2\, n(\omega_2,\alpha)]} = \frac{\Delta}{2} = p \qquad (22)$$

$n(\omega_i,\alpha)$ est l'indice de réfraction n^+ ou n^- à ω_i, donné par la formule (4) de l'exemple 1, selon la direction de propagation correspondant à un angle de rotation α donné.
Ainsi à chaque α correspond un triplet spécifique $(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$: l'accordabilité du dispositif est donc bien obtenue par rotation du cylindre autour de son centre.

Par exemple, un cylindre usiné dans le plan (xy) de $CsTiOAsO_4$ dans lequel est inscrit un réseau de période $\Lambda=16\mu m$ permet une interaction de doublage de fréquence ($\omega_1=\omega_2=\omega, \omega_3=2\omega$). Les deux ondes à la pulsation fondamentale ω ont un indice de réfraction $n(\lambda,\phi)$ tel que :

$$n(\lambda,\phi) = [\cos^2\phi\, n_y^{-2}(\lambda) + \sin^2\phi\, n_x^{-2}(\lambda)]^{-1/2} \qquad (23)$$

$n_y(\lambda)$ et $n_x(\lambda)$ sont donnés par les équations de Sellmeier (8) de l'exemple 1, ϕ est l'angle que fait la direction de propagation avec l'axe x.

L'onde générée a un indice de réfraction $n_z(\lambda)$ donné par l'équation (8) de l'exemple 1. Une telle structure permet le doublage de fréquence pour des longueurs d'ondes comprises entre 2,56µm, à $\phi=0°$, et 3,38µm, $\phi=90°$.

Il demeure bien entendu que la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés ci-dessus, mais qu'elle en englobe toutes les variantes. C'est ainsi que notamment le cristal peut présenter un volume de cylindre 1, un volume de cylindroïde 2, un volume de cylindre tronqué 3 ou un volume de cylindroïde tronqué 4, ou un volume de portion 5 de cylindre ou de cylindroïde, tel qu'illustré par la figure 2. Le cylindre ou cylindroïde peut présenter une section choisie parmi le groupe constitué par une section circulaire et une section elliptique.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour la génération, par interaction(s) à trois ou quatre ondes a partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence, caractérisé en ce qu'il est essentiellement constitué par un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète, ou bien de manière tronquée sur au moins deux cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution, ou bien encore de manière partielle sur un seul de tels cadrans, et en ce qu'il comprend en outre un système optique permettant d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, et permettant d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit cristal présente un volume choisi parmi le groupe constitué par un volume de cylindre (1), un volume de cylindroïde (2), un volume de cylindre tronqué (3), un volume de cylindroïde tronqué (4), un volume de cylindre ou de cylindroïde partiel (5).

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit volume cylindrique présente une section choisie parmi le groupe constitué par une section circulaire et une section elliptique.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal comporte au moins une entité chimique hyperpolarisable.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal choisi parmi le groupe constitué par un cristal de $LiTaO_3$, de $KTiOPO_4$, de $KTiOAsO_4$, de $RbTiOPO_4$, de $RbTiOAsO_4$, de $CsTiOAsO_4$, de β. BaB_2O_4, de LiB_3O_5, de $KNbO_3$, de $LiIO_3$, de $LiNbO_3$, de KD_2PO_4, de KH_2PO_4, de $NH_4H_2PO_4$, de CsD_2AsO_4, de CsH_2AsO_4, de $AgGaS_2$, de $AgGaSe_2$, de $ZnGeP_2$, de Tl_3AsSe_3 et un cristal de GaAs.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la taille dudit cristal est choisie parmi le groupe constitué par une taille micrométrique, millimétrique et une taille centrimetrique.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit système optique est essentiellement constitué par deux éléments placés de part et d'autre dudit cristal et choisis parmi le groupe constitué par une lentille convergente, une lentille divergente, un ensemble de lentilles, une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté dudit cristal, et une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté opposé dudit cristal.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de révolution dudit cristal est confondu avec un axe mécanique rotatif de façon à ce que le cristal puisse tourner autour de son axe.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal monocristallin.

11. Dispositif selon l'une quelconque des

revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal à propriété de quasi-accord de phase.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit cristal présente, le long de la direction de propagation des rayonnements recherchés, une juxtaposition périodiquement alternée de domaines monocristallins.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de révolution dudit cristal est orthogonal au plan de la (ou des) direction(s) de vecteurs d'onde d'une interaction recherchée, et plus particulièrement de la (ou des) direction(s) permettant une efficacité maximale de cette interaction.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal contient la (ou les) direction(s) permettant une efficacité maximale de l'interaction, de telle manière qu'elle(s) soit (soient) accessible(s) audit (auxdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) en incidence normale ou proche de la normale sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution, soit par rotation dudit cristal autour de son axe de révolution, soit par rotation dudit (desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) autour dudit cristal dans un plan orthogonal à l'axe de révolution dudit cristal.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend (comprennent chacun) une, deux, trois ou quatre fréquence(s) égales ou différentes, à vecteurs d'onde colinéaires ou non colinéaires, et en incidence normale ou proche de la normale sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal présente un réseau de domaines monocristallins choisi parmi le groupe constitué par un réseau de domaines monocristallins plans, un réseau de domaines monocristallins circulaires, un réseau de domaines monocristallins elliptiques.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal présente un réseau de domaines périodiquement alternés, éventuellement entouré d'une couronne monocristalline (c) non alternée.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) est un (sont des) rayonnement(s) laser, notamment un (des) rayonnement(s) laser choisi(s) parmi le groupe constitué par un rayonnement laser à fréquence(s) fixe(s) et un rayonnement laser à fréquence(s) accordable(s).

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite (ou lesdites) interaction(s) est (sont des) une interaction(s) choisie(s) parmi le groupe constitué par une interaction à trois ondes ou une interaction à quatre ondes.

20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal présente une structure non centro-symétrique, de telle sorte que ledit dispositif permette une interaction à trois ondes.

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à

quatre ondes, et en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à la somme desdites deux, ou le cas echéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui est égale au double ou au triple d'une frequence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, et en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à une différence entre lesdites deux, ou le cas échéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, dont la somme est égale à une fréquence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que ladite (ou au moins une desdites) interaction(s) est une interaction à vecteurs d'ondes colineaires.

26. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que ladite

interaction est une interaction à vecteurs d'ondes non colinéaires.

27. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite (ou au moins une desdites) interaction(s) est une interaction choisie parmi le groupe constitué par une amplification paramétrique optique, une génération de second ou tierce harmonique.

28. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est placé à l'intérieur d'une cavité permettant une interaction résonante, et en ce que ledit système optique permettant d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, et permettant d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s), est placé à l'extérieur de ladite cavité.

29. Dispositif selon la revendication 28, caractérisé en ce que ladite interaction résonante est une interaction à trois ou quatre ondes choisie parmi le groupe constitué par une oscillation paramétrique optique, une amplification paramétrique optique, une génération de second ou tierce harmonique.

30. Dispositif selon la revendication 28 ou 29, caractérisé en ce que ladite cavité comporte des surfaces réfléchissantes entrée et sortie en regard l'une de l'autre permettant la résonance d'au moins une des ondes en interaction.

31. Dispositif selon la revendication 30, caractérisé en ce que ladite surface réfléchissante entrée est choisie parmi le groupe constitué par une surface réfléchissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure, avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal

et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité.

32. Dispositif selon la revendication 30 ou 31, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance a un angle de double réfraction ρ non nul, et en ce que ladite surface réfléchissante sortie présente un rayon de courbure, avec une concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, de façon à ce que les faisceaux aller et retour soient confondus.

33. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 30 à 32, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance a un angle de double réfraction ρ non nul, et en ce que ladite surface réfléchissante sortie est placée à une distance (d) dudit cristal et présente un rayon de courbure R dont les valeurs respectives répondent à l'équation $R = d-L$ avec d supérieur à L pour une concavité orientée du côté dudit cristal, ou à l'équation $R = L-d$ avec d inférieur à L pour une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, avec L défini par $L = R_c (\cos(2\rho) + (\sin(2\rho) / \tan(\rho_e)) - 1)$, avec R_c étant le rayon du volume cylindrique de révolution, ρ l'angle de double réfraction, et avec ρ_e défini par $\rho_e = \arcsin (n \sin(2\rho) - 2\rho)$, avec n étant l'indice de réfraction de ladite au mcins une onde dont la résonance est recherchée.

34. Dispositif selon la revendication 30 ou 31, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance présente un angle de double réfraction ρ nul, et en ce que ladite surface réfléchissante sortie est choisie parmi une surface réflechissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure,

avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité.

35. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caracterisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour le contrôle thermostatique dudit cristal

36. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est maintenu à une température différente de la température ambiante.

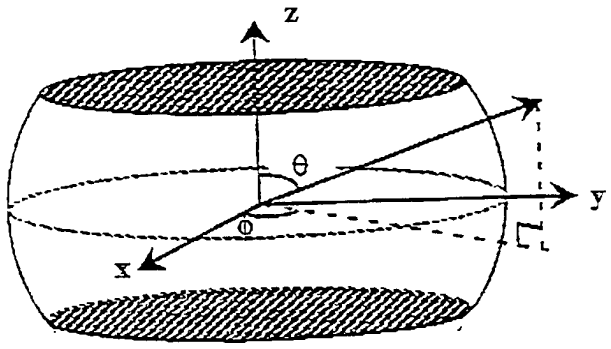
37. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précedentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens permettant d'appliquer un champ électrique statique ou de basse fréquence à l'intérieur dudit cristal.

38. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une paire d'électrodes placées sur des faces opposées dudit cristal.

39. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il constitue un élément choisi parmi le groupe constitué par un élément de spectroscope, un élement de système de télédétection, un élément de système de télétransmission, un élément de système de téléguidage, un élément de système LIDAR, un élément de système de contre-mesures optroniques.

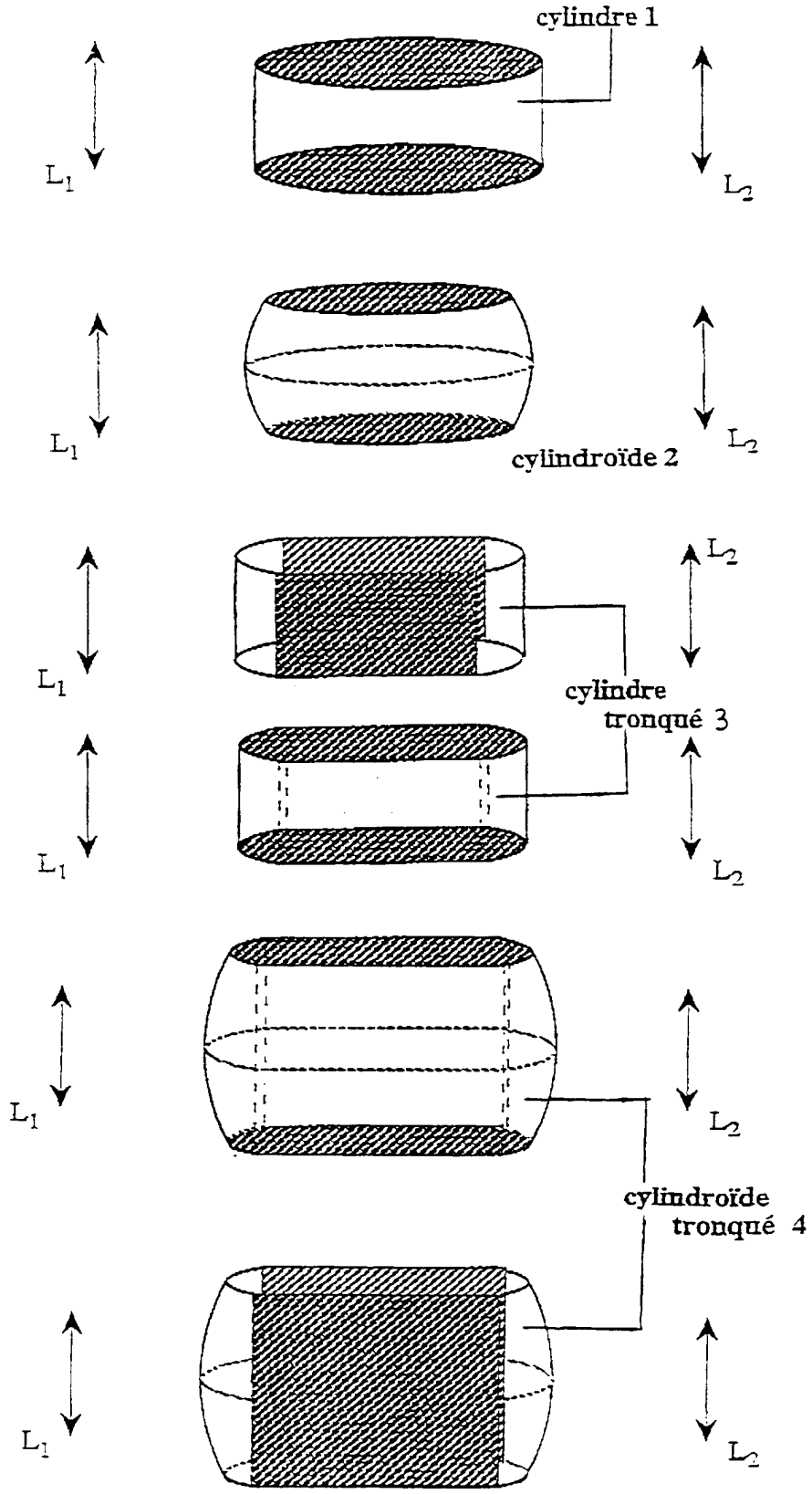
40. Méthode pour la génération d'un rayonnement optique accordable au moins en fréquence, caractérisé en ce qu'elle met en œuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes.

Figure 1



cylindroïde 2

Figure 2


cylindre 1
L_1
L_2
L_1
L_2
cylindroïde 2
L_2
L_1
cylindre
tronqué 3
L_1
L_2
L_1
L_2
cylindroïde
tronqué 4
L_1
L_2

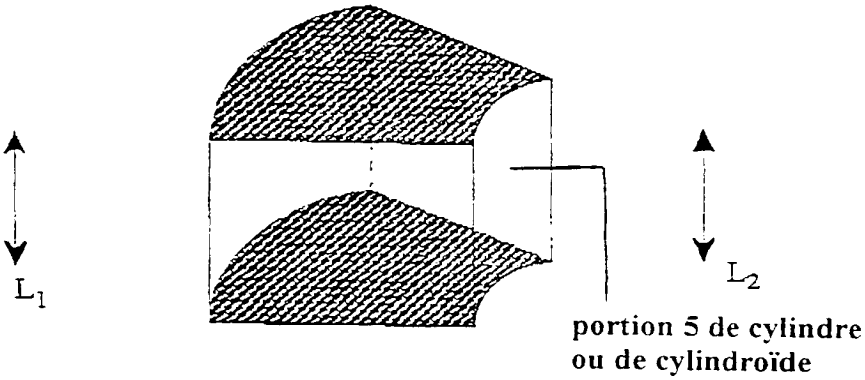


Figure 2 (suite)

Figure 3

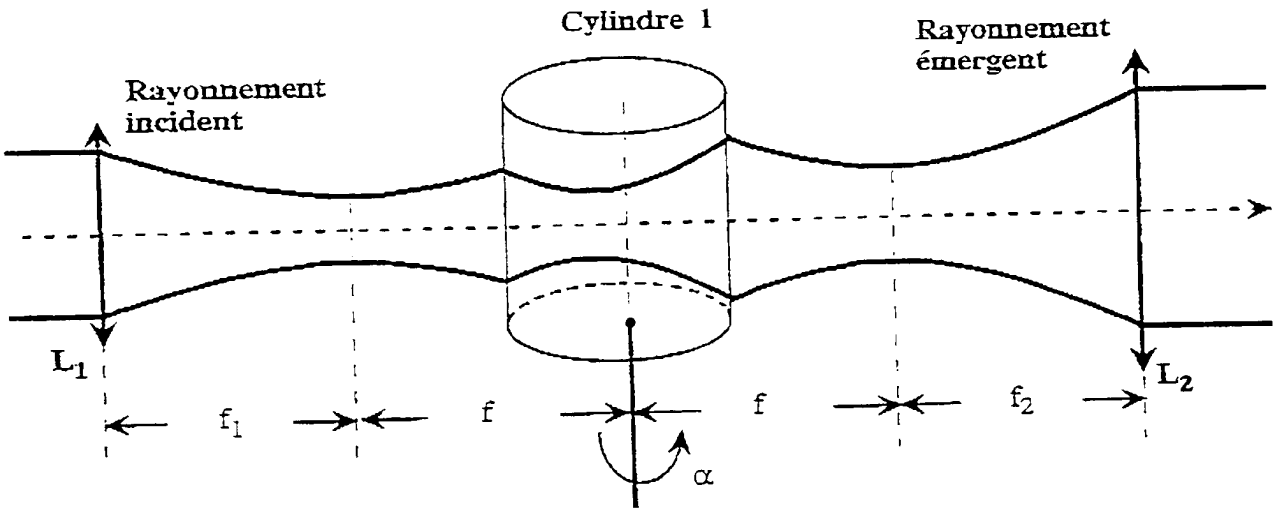


Figure 4

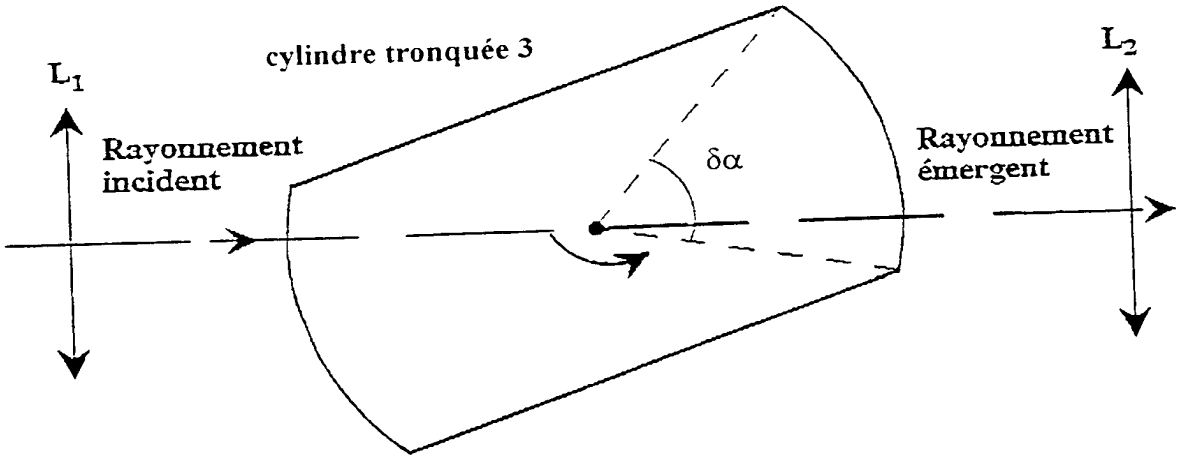
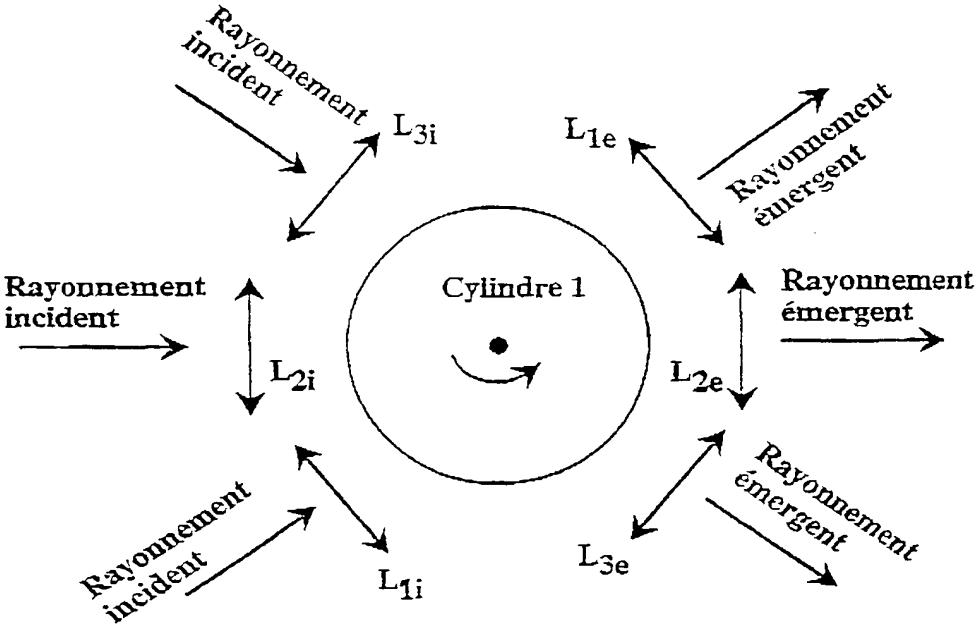


Figure 5


Rayonnement incident
L3i
L1e
Rayonnement émergent
Rayonnement incident
Cylindre 1
Rayonnement émergent
L2i
L2e
Rayonnement incident
L1i
L3e
Rayonnement émergent

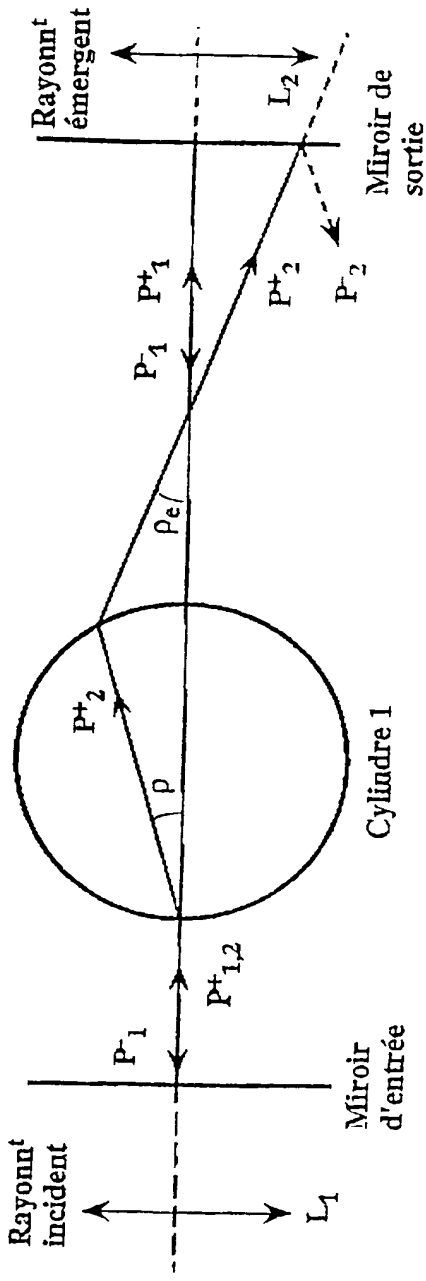

Rayonnt émergent
L2
Miroir de sortie
P+1
P-1
P+2
P-2
ρe
P+2
ρ
Cylindre 1
P+1,2
P-1
Miroir d'entrée
Rayonnt incident
L1

Figure 6

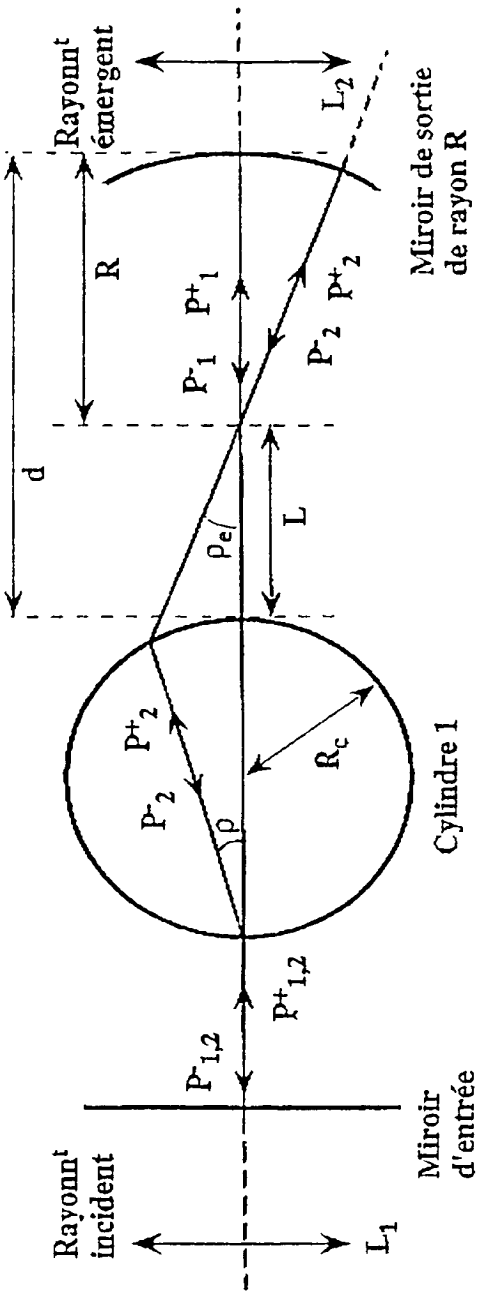

Rayonnt émergent
L2
Miroir de sortie de rayon R
R
P+1
P-1
P+2
P-2
d
L
ρe/
P+2
P-2
ρ
Rc
Cylindre 1
P+1,2
P-1,2
Miroir d'entrée
Rayonnt incident
L1

Figure 7

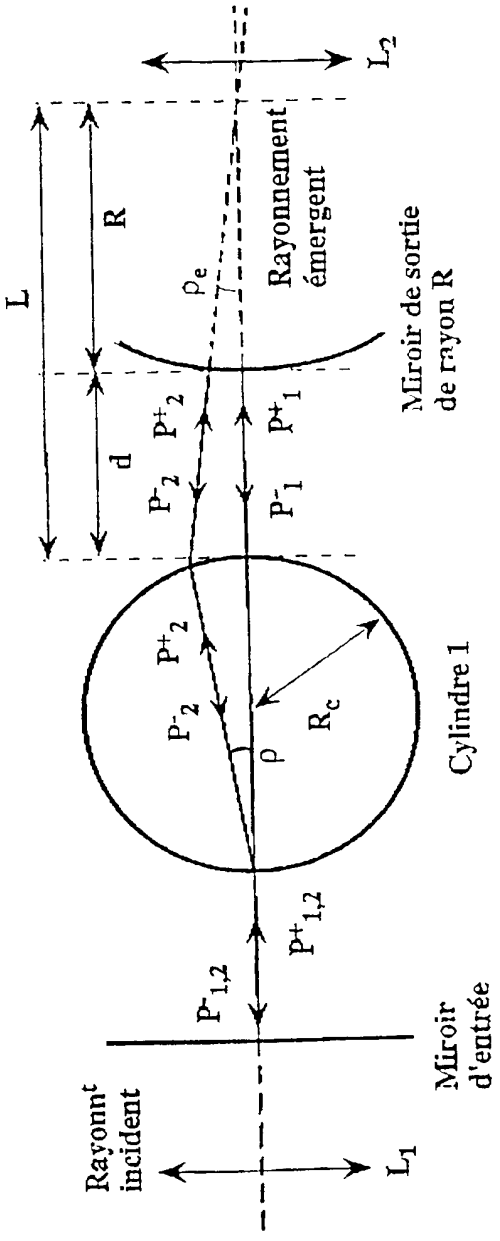

L2
R
L
ρe
Rayonnement émergent
Miroir de sortie de rayon R
d
P+2
P+1
P-2
P-1
Cylindre 1
Rc
ρ
P+1,2
P-1,2
Miroir d'entrée
Rayonnt incident
L1

Figure 8

Figure 9

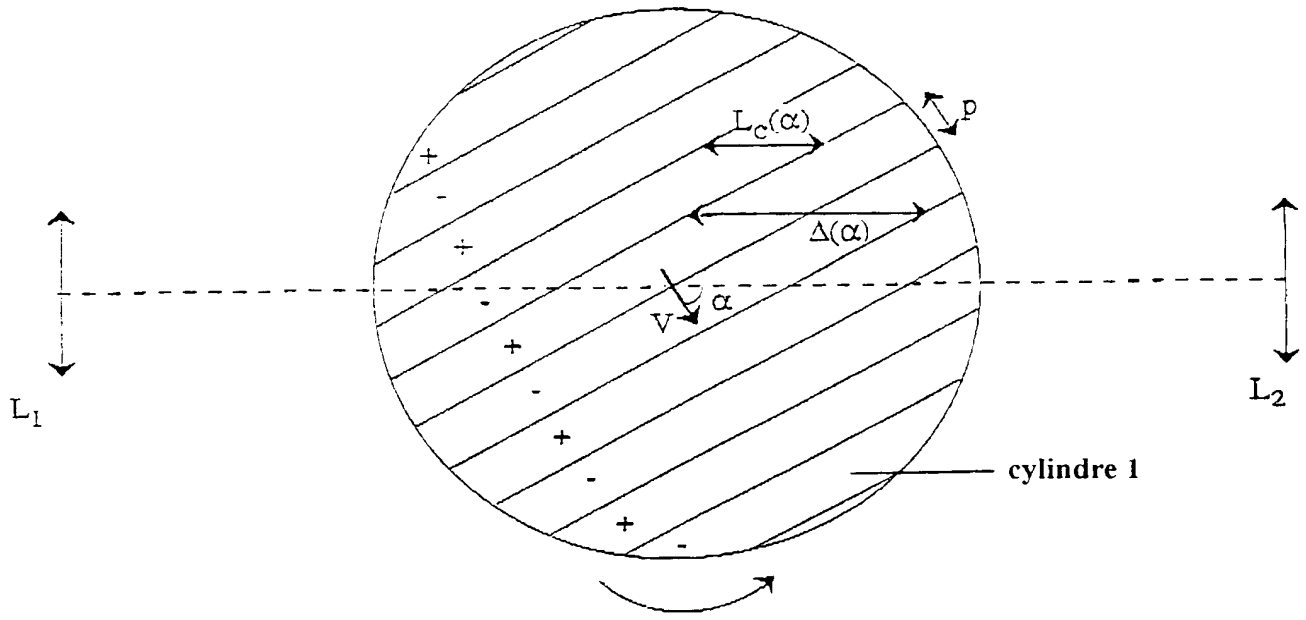


Figure 10

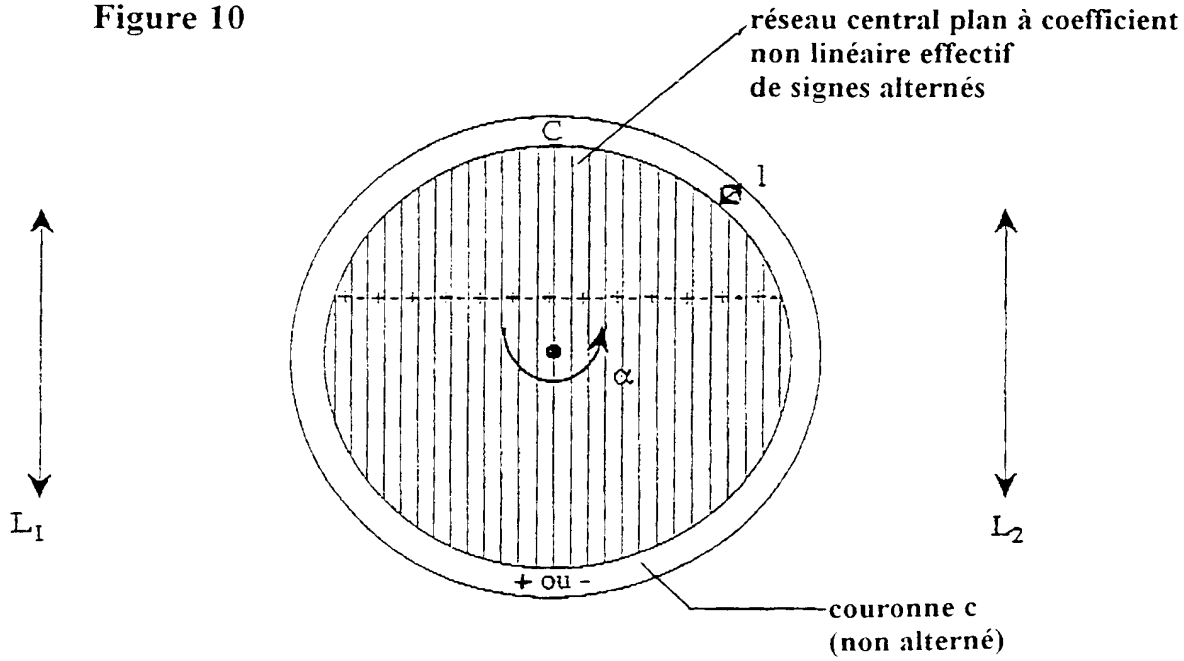


Figure 11

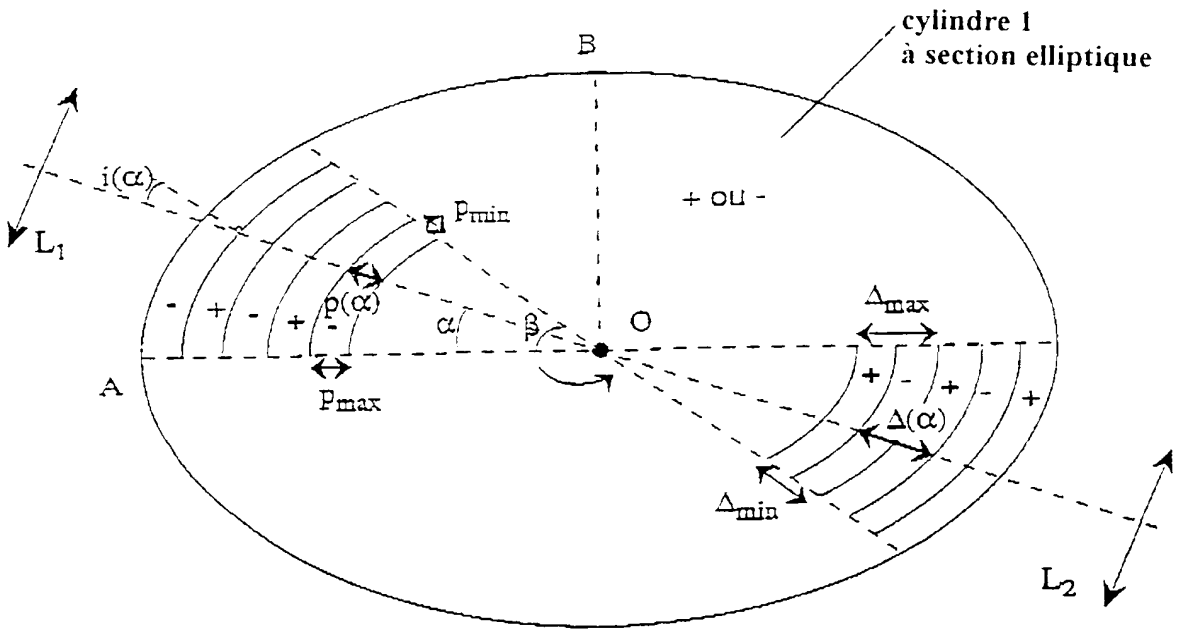


Figure 12

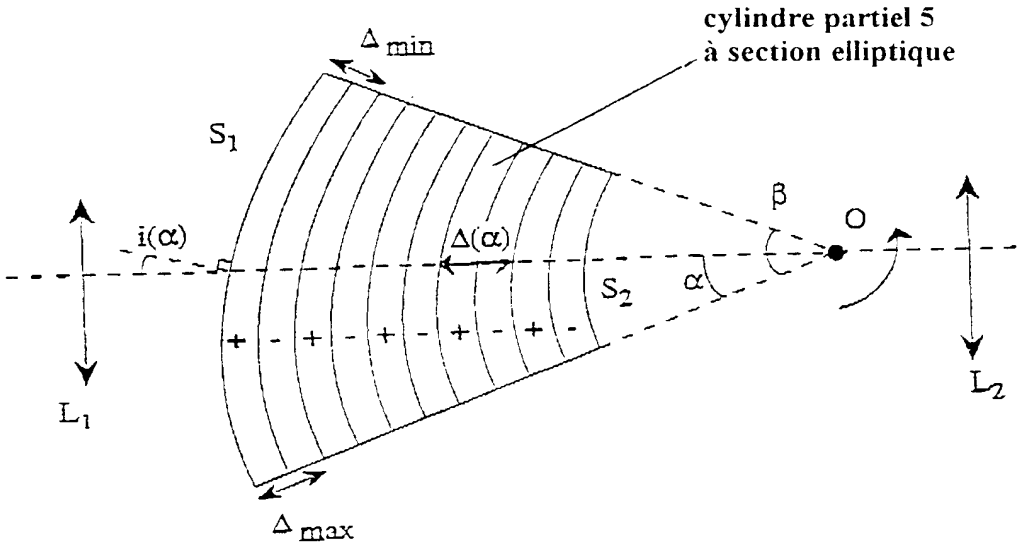
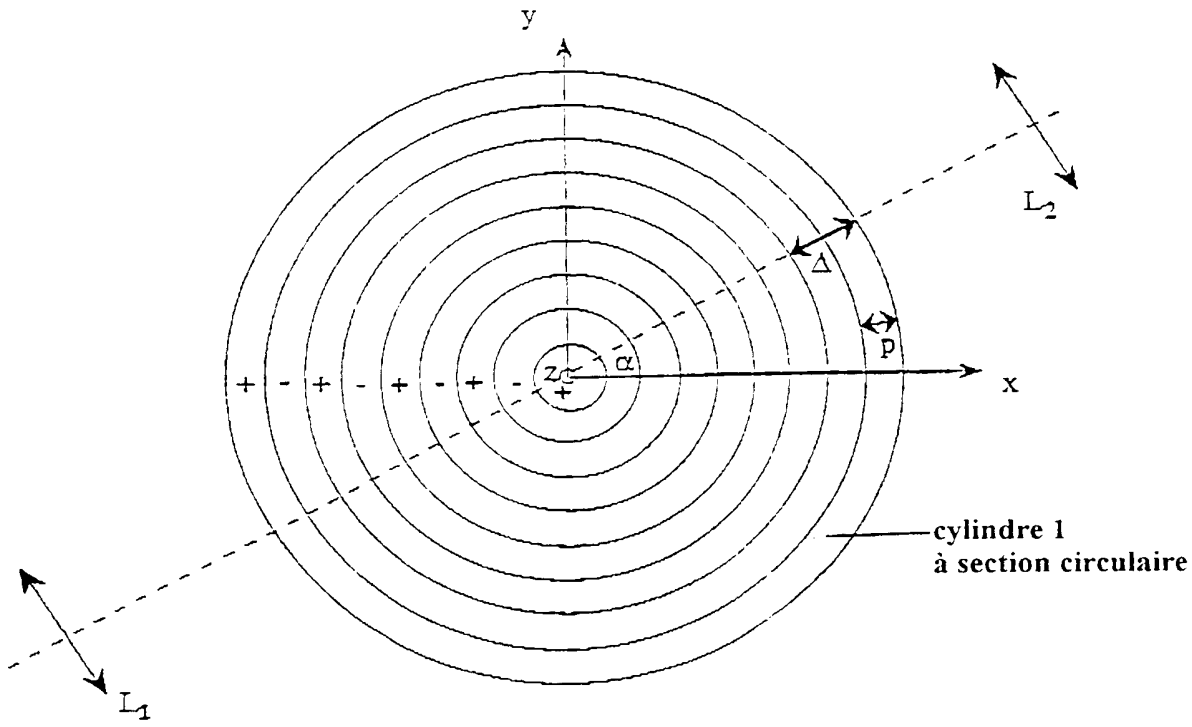


Figure 13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 98/02563

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02F1/35 G02F1/37 G02F1/39

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 738 360 A (BM IND) 7 March 1997 see the whole document	1-10, 13-15, 18-27,40
Y	idem	11,12, 35-38
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 510 (P-1804), 26 September 1994 -& JP 06 175181 A (SUMITOMO METAL MINING CO LTD), 24 June 1994 see abstract; figures 1-3	1-10, 13-15, 18-27,40
Y	US 5 644 422 A (BORTZ MICHAEL LOUIS ET AL) 1 July 1997 see abstract; claims 1-5; figures	11,12, 35-38

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 February 1999	17/02/1999

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Iasevoli, R

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 014 (P-1467), 11 January 1993 & JP 04 242229 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP), 28 August 1992 see abstract	1,40
A	US 5 459 744 A (HAYASHI TOSHIMITU) 17 October 1995 see abstract; figure 2 see column 1, line 65 - column 2, line 33 see column 3, line 18 - line 56	1,40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/FR 98/02563

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2738360 A	07-03-1997	NONE	
US 5644422 A	01-07-1997	NONE	
US 5459744 A	17-10-1995	JP 2629621 B JP 7181534 A	09-07-1997 21-07-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

nde internationale No
PCT/FR 98/02563

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G02F1/35 G02F1/37 G02F1/39

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultee (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 6 G02F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure ou ces documents relevent des domaines sur lesquels a porte la recherche

Base de donnees electronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si realisable, termes de recherche utilises)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas echéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 738 360 A (BM IND) 7 mars 1997 voir le document en entier	1-10, 13-15, 18-27,40
Y	idem	11,12, 35-38
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 510 (P-1804), 26 septembre 1994 -& JP 06 175181 A (SUMITOMO METAL MINING CO LTD), 24 juin 1994 voir abrégé; figures 1-3	1-10, 13-15, 18-27,40
Y	US 5 644 422 A (BORTZ MICHAEL LOUIS ET AL) 1 juillet 1997 voir abrégé; revendications 1-5; figures	11,12, 35-38

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégones spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison etant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expedition du présent rapport de recherche internationale
9 février 1999	17/02/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Europeen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Iasevoli, R

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (juillet 1992)

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Categorie	Identification des documents cites, avec le cas echeant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visees
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 014 (P-1467), 11 janvier 1993 & JP 04 242229 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP), 28 août 1992 voir abrégé	1,40
A	US 5 459 744 A (HAYASHI TOSHIMITU) 17 octobre 1995 voir abrégé; figure 2 voir colonne 1, ligne 65 - colonne 2, ligne 33 voir colonne 3, ligne 18 - ligne 56	1,40

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No
PCT/FR 98/02563

Document brevet cite au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2738360 A	07-03-1997	AUCUN	
US 5644422 A	01-07-1997	AUCUN	
US 5459744 A	17-10-1995	JP 2629621 B	09-07-1997
		JP 7181534 A	21-07-1995

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

Expéditeur: L'ADMINISTRATION CHARGEE DE L'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

Destinataire:

PEAUCELLE, C
Cabinet ARMENGAUD AINE
3 Avenue Bugeaud
F - 75116 Paris
FRANCE

PCT

NOTIFICATION DE TRANSMISSION DU RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(règle 71.1 du PCT)

Date d'expédition (jour/mois/année)	01.03.00

Référence du dossier du déposant ou du mandataire	NOTIFICATION IMPORTANTE
59220-896	

Demande internationale No.	Date du dépôt international (jour/mois/année)	Date de priorité (jour/mois/année)
PCT/FR98/02563	27/11/1998	27/11/1997

Déposant
UNIVERSITE DE BOURGOGNE et al.

1. Il est notifié au déposant que l'administration chargée de l'examen préliminaire international a établi le rapport d'examen préliminaire international pour la demande internationale et le lui transmet ci-joint, accompagné, le cas échéant, de ces annexes.

2. Une copie du présent rapport et, le cas échéant, de ses annexes est transmise au Bureau international pour communication à tous les offices élus.

3. Si tel ou tel office élu l'exige, le Bureau international établira une traduction en langue anglaise du rapport (à l'exclusion des annexes de celui-ci) et la transmettra aux offices intéressés.

4. **RAPPEL**

Pour aborder la phase nationale auprès de chaque office élu, le déposant doit accomplir certains actes (dépôt de traduction et paiement des taxes nationales) dans le délai de 30 mois à compter de la date de priorité (ou plus tard pour ce qui concerne certains offices) (article 39.1) (voir aussi le rappel envoyé par le Bureau international dans le formulaire PCT/IB/301).

Lorsqu'une traduction de la demande internationale doit être remise à un office élu, elle doit comporter la traduction de toute annexe du rapport d'examen préliminaire international. Il appartient au déposant d'établir la traduction en question et de la remettre directement à chaque office élu intéressé.

Pour plus de précisions en ce qui concerne les délais applicables et les exigences des offices élus, voir le Volume II du Guide du déposant du PCT.

Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international	Fonctionnaire autorisé
Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx. 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Voigt, C Tél. +49 89 2399-2251

Formulaire PCT/IPEA/416 (juillet 1992)

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 59220-896	**POUR SUITE A DONNER** voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/FR98/02563	Date du dépot international *(jour/mois/année)* 27/11/1998	Date de priorité *(jour/mois/année)* 27/11/1997
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB G02F1/35		
Déposant UNIVERSITE DE BOURGOGNE et al.		

1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administaration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.

2. Ce RAPPORT comprend 5 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.

   ☒ Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT)

   Ces annexes comprennent 13 feuilles.

3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:

   - I ☒ Base du rapport
   - II ☐ Priorité
   - III ☐ Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
   - IV ☐ Absence d'unité de l'invention
   - V ☒ Declaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
   - VI ☐ Certains documents cités
   - VII ☒ Irrégularités dans la demande internationale
   - VIII ☐ Observations relatives à la demande internationale

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 15/05/1999	Date d'achèvement du présent rapport 01.03.00
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international: Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx 523656 epmu d Fax +49 89 2399 - 4465	Fonctionnaire autorisé Kieman, I. N° de téléphone +49 89 2399 2185

Formulaire PCT/IPEA/409 (feuille de couverture) (janvier 1994)

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

Demande internationale n° PCT/FR98/02563

I. Base du rapport

1. Ce rapport a été rédigé sur la base des éléments ci-après (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées, dans le présent rapport, comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications.*) :

Description, pages:

1,4-7,9-44	version initiale			
2,3,3bis,8,8bis	reçue(s) le	01/02/2000	avec la lettre du	27/01/2000

Revendications, N°:

2-5	version initiale			
1,6-39	reçue(s) le	01/02/2000	avec la lettre du	27/01/2000

Dessins, feuilles:

1/11-11/11	version initiale

2. Les modifications ont entraîné l'annulation :

- ☐ de la description, pages :
- ☐ des revendications, n°s :
- ☐ des dessins, feuilles

3. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

4. Observations complémentaires, le cas échéant :

V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Declaration

Nouveauté	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	
Activité inventive	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	
Possibilité d'application industrielle	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

VII. Irrégularités dans la demande internationale

Les irrégularités suivantes, concernant la forme ou le contenu de la demande internationale, ont été constatées :

voir feuille séparée

La présente notification fait mention des documents suivants cités dans le rapport de recherche. Le numéro d'ordre qui leur est attribué ci-après sera utilisé dans toute la suite de la procédure:

D1: FR-A-2 738 360

D2: PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 510 (P-1804), 26 septembre 1994 -& JP 06 175181 A , 24 juin 1994

D3: US-A-5 644 422

SECTION V

1. Le document D1 décrit un dispositif pour la génération, par interaction à trois ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s) (voir P. 1, L. 6-7), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence (voir P. 1, L. 4-5). Ledit dispositif comprend un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète (voir Fig. 1, (1)). Ledit cristal cylindrique est placé dans une enceinte étanche entre deux hublots façonnés en lentilles planes concaves divergentes (voir P. 2, L. 10), et un liquide d'adaptation d'indice baignant le cristal et les faces internes des hublots.
La présent revendication 1 tente de définir que le dispositif diffère en ce qu'il "ne nécessite pas de milieu d'adaptation d'indice". En général, l'objet d'une revendication est défini par des caractéristiques positives. Cependant, il est possible de limiter l'étendue de la revendication à l'aide d'un <<disclaimer>>, c'est-à-dire d'exclure expressément de la protection revendiquée un élément clairement défini par des caractéristiques techniques. L'usage d'un <<disclaimer>> est réservé aux cas où l'objet restant dans la revendication ne peut être défini de manière plus claire et plus concise par des caractéristiques positives (voir PG, Section III-4.12). La description décrit que le cristal "peut être placé à l'air libre", en conséquence, ledit <<disclaimer>> est interprété de manière que le cristal cylindrique est placé à l'air libre. Il est suggéré que dans la phase régionale la demandeur remplace ledit <<disclaimer>> par la formulation positive

"est placé à l'air libre".

La partie caractérisante de la revendication 1 définit un système optique par des caractéristiques fonctionnelles c'est-à-dire, que le dispositif comprend ledit système optique dont la combinaison avec le cristal cylindrique permet de confiner et de focaliser le rayonnement optique incident en trois plans focaux. Ainsi, elle génère un plan focal à l'intérieur dudit cristal, un plan focal entre la partie dudit système optique qui confine et la partie entrée dudit cristal et permet de collimater le rayonnement optique émergent. Le document D1 divulgue un système optique qui comprend une lentille plane concave divergente qui a un effet contraire donc de défocalisation et déconfinement du rayonnement incident. Les hublots divulgués ne peuvent donc pas permettre la génération de plans focaux tels que définis dans la revendication 1. Ledit système optique défini dans la partie caractérisante de la revendication 1 est tel que l'efficacite d'interaction est augmenté et les aberrations optiques sont limitées sans l'emploi d'un milieu d'adaptation d'indice. Le dispositif divulgué dans D1 ne suggère cette modification du système optique et, en outre, il n'est pas considérée évident pour l'homme du métier. Ainsi, l'objet de la revendication 1 (et la revendication de méthode 40 correspondante) semblerait satisfaire aux conditions de l'article 33(1) du PCT.

2. Les revendications 2-39 dépendent de la revendication 1 et satisfont donc également, en tant que telles, aux conditions requises par le PCT en ce qui concerne la nouveauté et l'activité inventive.

SECTION VII

1. Les caractéristiques figurant dans les revendications ne comportent pas de signes de référence mis entre parenthèses (règle 6.2 b) PCT).

2. Contrairement à ce qu'exige la règle 5.1 a) II) PCT, la description n'indique pas l'état de la technique antérieure pertinent tel qu'exposé dans les documents D1-D3 et ne cite pas ces documents.

A.R.T.
International
SERVICE - TRADUCTION - INTERPRETATION

DECLARATION

I, Mr DERISSON,

of A.R.T. International – 85, rue Galliéni 95170 Deuil-la-Barre, France

do hereby declare that I am conversant with the English and French languages and am a competent translator thereof. I further declare that to the best of my knowledge and belief the following is true and correct translation of the text of French Patent

N°FR98/02563.

Dated this 25th day of May 2001.

Signature of Translator

ten degrees of external angle on both sides of the directions orthogonal to both parallel faces subject to the radiation. Such an angular deviation is not always sufficient for accessing the entire existing phase tuning directions. On the other hand, refraction under oblique incidence leads to deformation and spectral widening of the generated beams.

Other tunable devices with parallelepipedal materials are for frequency conversion by non-linear optical interaction with quasi phase tuning. They now use translation with respect to the radiation of a parallelepipedal sample in which several gratings with different periodicities have been engraved. The main drawback of this technique is that it is necessary to achieve, for each jump from one grating to the other, angular or thermal tuning in order to make the generated radiation's spectral band continuous.

This is valid whether the interaction is resonant or not, i.e., whether the sample is placed in a cavity or not.

Other devices of the prior art require an index adaptation medium, and/or do not exhibit satisfactory spectral fineness on a large range of tunability.

The object of the present invention is to overcome

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

the drawbacks of the devices and techniques of the prior art, and it provides a device for generating, through three- or four-wave interaction(s) from one or more incident optical radiation(s), one or more emerging optical radiation(s) at least tunable in frequency, without requiring any index adaptation medium, characterized

- in that it essentially comprises a crystal with a non-linear optical property, the surface of which defines a cylindrical volume of revolution, in a complete or truncated way on at least two opposite and symmetrical quadrants with respect to its axis of revolution or else partly on a single one of those quadrants, and

- in that it further comprises an optical system, the combination of which with said crystal

is for confining and focussing said incident optical radiation(s) on the central portion(s) of said crystal on the one hand, in order to generate a focal plane inside said crystal and a focal plane between the confining and focussing portion of said optical system and the input portion of said crystal, and

is for collimating and directing said emerging optical radiation(s) on the other hand, in order to generate a focal between the output portion of said crystal and the confining and focussing portion of said optical system (cf. Fig. 3).

A cylindrical volume of revolution, in the present application, means a volume of revolution described by a line or curve segment moving along two closed curves located in parallel planes. These closed curves may be

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

selected from circles and ellipses.

The term cylindrical volume of revolution therefore means a volume of a cylinder as illustrated under reference number 1 in Fig. 2 (volume described by a curve segment) and a volume of a cylindroid as illustrated under reference number 2 in Fig. 2 (volume described by a curve segment). It should be emphasized that these cylindrical volumes of revolution (cylinder and cylindroid) may have a section selected from a circular section and an elliptical section. Such a section may notably be considered as following a plane orthogonal to the axis of revolution.

This cylindrical volume of revolution comprises, when it is described in a complete way, a basic volume, from which may be derived volumes described in a truncated way, or even in a partial way. Indeed, taking into account the symmetry of the index surface, a rotation of $\Delta\alpha = 90°$ of a crystal with a cylindrical volume of revolution with respect to a main axis of the index surface is sufficient...

English translation of the amended sheets of International preliminary report

said crystal, and that a second one of them is capable of reducing the divergence of the laser radiation emerging from the crystal, while enabling a focal plane to be generated between the input portions of said optical system and said crystal, and a focal plane between the output portions of said optical system and of said crystal (cf. Fig. 3). The device according to the invention may comprise one or more pair(s) of such optical components and in particular one or more pair(s) of lenses.

The focal distance of said components is such that the radiation(s) have a dimension which is small as compared to the radius of said crystal in order to limit optical aberrations and to increase the interaction efficiency, and such that this dimension is sufficient in order to prevent any damage to the crystal by a too strong incident intensity. This focal distance is generally between about 50 and 500 mm.

According to another advantageous aspect of the invention, the axis of revolution of said crystal coincides with a rotary mechanical axis so that the crystal may turn around its axis. Such a crystal may then be securely fixed to a goniometric device, advantageously, for controlling its angular displacement.

According to still another advantageous aspect of the invention, said crystal is a crystal with the property of phase tuning through double refraction, such as a monocrystal, or else it is a crystal with a property of quasi phase tuning.

A so-called crystal with a property of quasi phase

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

tuning may have along the sought-after direction of propagation of the radiations, a periodically alternating juxtaposition of monocrystalline domains, i.e., a juxtaposition of monocrystalline layers turned by an angle of 180°, one with respect to the other. Such a crystal with the property of quasi phase tuning may also be obtained through machining and juxtaposition of monocrystals, or else even by applying an electric field to a grid of electrodes deposited on the faces…

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

CLAIMS

1. A device for generating, through interactions with three or four waves from one or more incident optical radiations, one or more emerging optical radiations, at least tunable in frequency, without requiring any index adaptation medium, characterized :

- in that it is essentially formed by a crystal with a non-linear optical property, the surface of which defines a cylindrical volume of revolution, in a complete or a truncated way, on at least two opposite and symmetrical quadrants with respect to its axis of revolution, or else even in a partial way on only one of such quadrants, and

- in that it further comprises an optical system the combination of which with said crystal

is for confining and focussing said incident optical radiation(s) on the central portion(s) of said crystal on the one hand, in order to generate a focal plane inside said crystal, and a focal plane between the confining and focussing portion of said optical

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

system and the input portion of said crystal, and

is for collimating and directing said emerging optical radiation(s) on the other hand, in order to generate a focal between the output portion of said crystal and the confining and focussing portion of said optical system.

2. The device according to claim 1, characterized in that said crystal has a volume selected from a cylinder volume (1), a cylindroid volume (2), a truncated cylinder volume (3), a truncated cylindroid volume (4), a partial cylinder or cylindroid volume (5).

3. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said cylindrical volume has a section selected from a circular section and an elliptical section.

4. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal includes at least one hyperpolarizable chemical entity.

5. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal is a crystal selected from a crystal of $LiTaO_3$, $KTiOPO_4$, $KTiOAsO_4$, $RbTiOPO_4$, $RbTiOAsO_4$, $CsTiOAsO_4$, $\beta.BaB_2O_4$, LiB_3O_5, $KNbO_3$, $LiIO_3$, $LiNbO_3$, KD_2PO_4, KH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$, CsD_2ASO_4, CsH_2AsO_4, AgGaS, AgGaSe, $ZnGeP_2$, Tl_3AsSe_3 and a crystal of GaAs.

6. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said optical system is essentially formed by two components placed on both sides of said crystal and selected from a convergent lens, a divergent lens, a set of lenses, a reflecting

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

surface or mirror with the concavity orientated on the side of said crystal, and a reflecting surface or mirror with the concavity orientated on the opposite side of said crystal.

7. The device according to any of the preceding claims, characterized in that the axis of revolution of said crystal coincides with a rotary mechanical axis so that the crystal may rotate around its axis.

8. The device according to any of claims 1 to 7, characterized in that said crystal is a crystal with a phase tuning property through double refraction.

9. The device according to claim 8, characterized in that said crystal is a monocrystalline crystal.

10. The device according to any of claims 1 to 7, characterized in that said crystal is a crystal with a quasi phase tuning property.

11. The device according to claim 10, characterized in that said crystal has, along the direction of propagation of the sought-after radiations, a periodically alternating juxtaposition of monocrystalline domains.

12. The device according to any of the preceding claims, characterized in that the axis of revolution of said crystal is orthogonal to the plane of the direction(s) of wave vectors of a sought-after interaction, and more particularly of the direction(s) providing maximum efficiency of this interaction.

13. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal contains direction(s) providing a maximum efficiency of the

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

interaction, so that they are accessible to said incident optical radiation(s) under normal incidence or close to the normal on one or more surface(s) of said crystal defining a cylindrical volume of revolution, either by rotation of said crystal around its axis of revolution, or by rotation of said incident optical radiations around said crystal in a plane orthogonal to the axis of revolution of said crystal.

14. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said incident optical radiation(s) comprise (each) one, two, three or four equal or different frequencies, with colinear or non-colinear wave vectors, and under normal incidence or close to the normal on one or more surfaces of said crystal defining a cylindrical volume of revolution.

15. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal has a network of monocrystalline domains selected from a network of plane monocrystalline domains, a network of circular monocrystalline domains, a network of elliptical monocrystalline domains.

16. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal has a network of periodically alternating domains, optionally surrounded by a non-alternating monocrystalline crown (c).

17. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said incident optical radiations are laser radiation(s), notably one or more laser radiations selected from a fixed frequency laser radiation and a tunable frequency laser radiation.

English translation of the amended sheets of International preliminary report

18. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said interaction(s) are interactions (s) selected from a three-wave interaction or a four-wave interaction.

19. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal has a non-centrosymmetric structure so that said device provides a three-wave interaction.

20. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said or at least one of said incident optical radiation(s) comprises two frequencies for a three-wave interaction, or three frequencies for a four-wave interaction, and in that said or at least one of said emerging optical radiation(s) comprise a frequency which corresponds to the sum of said two, or, if required, said three frequencies comprised in said incident optical radiation(s).

21. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said or at least one of said emerging optical radiation(s) comprise a frequency which is equal to the double or the triple of a frequency comprised in said or at least one of said incident optical radiation(s).

22. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said or at least one of said incident optical radiation(s) comprise two frequencies for a three-wave interaction, or three freq encies for a four-wave interaction and in that said or at least one of said emerging optical radiation(s) comprise a frequency which corresponds to

English translation of the amended sheets of international preliminary report

a difference between said two, or if required, said three frequencies comprised in said incident optical radiation(s).

23. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said or at least one of said emerging optical radiation(s) comprise two frequencies for a three-wave interaction, or three frequencies for a four-wave interaction, the sum of which is equal to a frequency comprised in said or at least one of said incident optical radiation(s).

24. The device according to any of the claims 1 to 23, characterized in that said or at least one of said interaction(s) is an interaction with colinear wave vectors.

25. The device according to any of claims 1 to 23, characterized in that said interaction is an interaction with non-colinear wave vectors.

26. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said or at least one of said interaction(s) is an interaction selected from an optical parametric amplification, a generation of second or third harmonic.

27. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal is placed inside a cavity providing a resonant interaction, and in that said optical system for confining and focussing said incident optical radiation(s) on the central portion(s) of said crystal on the one hand, and for collimating and directing said emerging optical radiation(s) on the other hand, is placed outside said cavity.

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

28. The device according to claim 27, characterized in that said resonant interaction is an interaction with three or four waves selected from an optical parametric oscillation, an optical parametric amplification, a generation of second or third harmonics.

29. The device according to claim 27 or 28, characterized in that said cavity includes input and output reflecting surfaces facing each other providing resonance for at least one of the interacting waves.

30. The device according to any claim 29, characterized in that said input reflecting surface is selected from a plane reflecting surface and a reflecting surface having a radius of curvature, with the concavity selected from a concavity orientated on the side of said crystal and a concavity orientated on the opposite side, in order to optimize the oscillation threshold and the stability of the cavity.

31. The device according to claim 29 or 30, characterized in that said at least one resonant wave has a non-zero double refraction angle ρ and in that said output reflecting surface has a radius of curvature, with a concavity selected from a concavity orientated on the side of said crystal and a concavity orientated on the opposite side of said crystal, so that the outgoing and returning beams coincide.

32. The device according to any of the claims 29 to 31, characterized in that said at least one resonant wave has a non-zero double refraction angle ρ, and in that said output reflecting surface is placed at a distance (d) from said crystal and has a radius of

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

curvature R the respective values of which satisfy equation R = d - L with d larger than L for a concavity orientated on the side of said crystal, or the equation R = L - d with d less than L for a concavity orientated on the opposite side of said crystal, with L defined as $L = R_c (\cos(2\rho) + \sin(2\rho) / \tan(\rho_e)) - 1)$, with R_c the radius of the cylindrical volume of revolution, ρ the double refraction angle and with ρ_e defined by $\rho_e = \arcsin(n \sin(2\rho) - 2\rho)$, with n being the refractive index of said at least one wave for which resonance is sought.

33. The device according to claim 29 or 30, characterized in that said at least one resonant wave has a zero double refraction angle ρ, and in that said output reflecting surface is selected from a plane reflecting surface and a reflecting surface having a radius of curvature, with the concavity selected from a concavity orientated on the side of said crystal and a concavity orientated on the opposite side, in order to optimize the oscillation threshold and the stability of the cavity.

34. The device according to any of the preceding claims, characterized in that it further comprises means for thermostatic control of said crystal.

35. The device according to any of the preceding claims, characterized in that said crystal is held at a temperature different from room temperature.

36. The device according to any of the preceding claims, characterized in that it further comprises means for applying a static or low frequency electric

English translation of the amended sheets of
International preliminary report

field to the inside of said crystal.

37. The device according to any of the preceding claims, characterized in it further comprises a pair of electrodes placed on the opposite faces of said crystal.

38. The device according to any of the preceding claims, characterized in that it forms a component selected from a spectroscope component, a remote detection system component, a remote transmission system component, a remote guiding system component, a LIDAR system component, an optronic counter-measure system component.

39. A method for generating an optical radiation at least tunable in frequency, characterized in that it implements a device according to any of the preceding claims.

TRAITE D[E] COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

Expéditeur: le BUREAU INTERNATIONAL

PCT

NOTIFICATION D'ELECTION

(règle 61.2 du PCT)

Destinataire:

United States Patent and Trademark Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

en sa qualité d'office élu

Date d'expédition (jour/mois/année) 22 juillet 1999 (22.07.99)	
Demande internationale no PCT/FR98/02563	**Référence du dossier du déposant ou du mandataire** 59220-896
Date du dépôt international (jour/mois/année) 27 novembre 1998 (27.11.98)	**Date de priorité** (jour/mois/année) 27 novembre 1997 (27.11.97)
Déposant BOULANGER, Benoit etc	

1. L'office désigné est avisé de son élection qui a été faite:

[X] dans la demande d'examen préliminaire international présentée à l'administration chargée de l'examen préliminaire international le:

15 mai 1999 (15.05.99)

[ ] dans une déclaration visant une élection ultérieure déposée auprès du Bureau international le:

2. L'élection [X] a été faite

[ ] n'a pas été faite

avant l'expiration d'un délai de 19 mois à compter de la date de priorité ou, lorsque la règle 32 s'applique, dans le délai visé à la règle 32.2b).

Bureau international de l'OMPI **34, chemin des Colombettes** **1211 Genève 20, Suisse**	Fonctionnaire autorisé R. Forax

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

REC'D 03 MAR 2000
WIPO PCT

PCT

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

17T

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 59220-896	**POUR SUITE A DONNER** voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/FR98/02563	Date du dépot international *(jour/mois/année)* 27/11/1998	Date de priorité *(jour/mois/année)* 27/11/1997
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB G02F1/35		
Déposant UNIVERSITE DE BOURGOGNE et al.		

1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administaration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.

2. Ce RAPPORT comprend 5 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.

   ☒ Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).

   Ces annexes comprennent 13 feuilles.

3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:

   - I ☒ Base du rapport
   - II ☐ Priorité
   - III ☐ Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
   - IV ☐ Absence d'unité de l'invention
   - V ☒ Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
   - VI ☐ Certains documents cités
   - VII ☒ Irrégularités dans la demande internationale
   - VIII ☐ Observations relatives à la demande internationale

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 15/05/1999	Date d'achèvement du présent rapport 01.03.00
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international: Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Fonctionnaire autorisé Kiernan, L N° de téléphone +49 89 2399 2185

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

Demande internationale n° PCT/FR98/02563

I. Base du rapport

1. Ce rapport a été rédigé sur la base des éléments ci-après (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées, dans le présent rapport, comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications.*) :

Description, pages:

1,4-7,9-44	version initiale			
2,3,3bis,8,8bis	reçue(s) le	01/02/2000	avec la lettre du	27/01/2000

Revendications, N°:

2-5	version initiale			
1,6-39	reçue(s) le	01/02/2000	avec la lettre du	27/01/2000

Dessins, feuilles:

1/11-11/11	version initiale

2. Les modifications ont entrainé l'annulation :

   ☐ de la description, pages :
   ☐ des revendications, n°s :
   ☐ des dessins, feuilles :

3. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

4. Observations complémentaires, le cas échéant :

V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	
Activité inventive	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	
Possibilité d'application industrielle	Oui :	Revendications	1-39
	Non :	Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

VII. Irrégularités dans la demande internationale

Les irrégularités suivantes, concernant la forme ou le contenu de la demande internationale, ont été constatées :

voir feuille séparée

La présente notification fait mention des documents suivants cités dans le rapport de recherche. Le numéro d'ordre qui leur est attribué ci-après sera utilisé dans toute la suite de la procédure:

D1: FR-A-2 738 360

D2: PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 510 (P-1804), 26 septembre 1994 -& JP 06 175181 A , 24 juin 1994

D3: US-A-5 644 422

SECTION V

1. Le document D1 décrit un dispositif pour la génération, par interaction à trois ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s) (voir P. 1, L. 6-7), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence (voir P. 1, L. 4-5). Ledit dispositif comprend un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète (voir Fig. 1, (1)). Ledit cristal cylindrique est placé dans une enceinte étanche entre deux hublots façonnés en lentilles planes concaves divergentes (voir P. 2, L. 10), et un liquide d'adaptation d'indice baignant le cristal et les faces internes des hublots.
La présent revendication 1 tente de définir que le dispositif diffère en ce qu'il "ne nécessite pas de milieu d'adaptation d'indice". En général, l'objet d'une revendication est défini par des caractéristiques positives. Cependant, il est possible de limiter l'étendue de la revendication à l'aide d'un <<disclaimer>>, c'est-à-dire d'exclure expressément de la protection revendiquée un élément clairement défini par des caractéristiques techniques. L'usage d'un <<disclaimer>> est réservé aux cas où l'objet restant dans la revendication ne peut être défini de manière plus claire et plus concise par des caractéristiques positives (voir PG, Section III-4.12). La description décrit que le cristal "peut être placé à l'air libre", en conséquence, ledit <<disclaimer>> est interprété de manière que le cristal cylindrique est placé à l'air libre. Il est suggéré que dans la phase régionale la demandeur remplace ledit <<disclaimer>> par la formulation positive

"est placé à l'air libre".

La partie caractérisante de la revendication 1 définit un système optique par des caractéristiques fonctionnelles c'est-à-dire, que le dispositif comprend ledit système optique dont la combinaison avec le cristal cylindrique permet de confiner et de focaliser le rayonnement optique incident en trois plans focaux. Ainsi, elle génère un plan focal à l'intérieur dudit cristal, un plan focal entre la partie dudit système optique qui confine et la partie entrée dudit cristal et permet de collimater le rayonnement optique émergent. Le document D1 divulgue un système optique qui comprend une lentille plane concave divergente qui a un effet contraire donc de défocalisation et déconfinement du rayonnement incident. Les hublots divulgués ne peuvent donc pas permettre la génération de plans focaux tels que définis dans la revendication 1. Ledit système optique défini dans la partie caractérisante de la revendication 1 est tel que l'efficacité d'interaction est augmenté et les aberrations optiques sont limitées sans l'emploi d'un milieu d'adaptation d'indice. Le dispositif divulgué dans D1 ne suggère cette modification du système optique et, en outre, il n'est pas considérée évident pour l'homme du métier. Ainsi, l'objet de la revendication 1 (et la revendication de méthode 40 correspondante) semblerait satisfaire aux conditions de l'article 33(1) du PCT.

2. Les revendications 2-39 dépendent de la revendication 1 et satisfont donc également, en tant que telles, aux conditions requises par le PCT en ce qui concerne la nouveauté et l'activité inventive.

SECTION VII

1. Les caractéristiques figurant dans les revendications ne comportent pas de signes de référence mis entre parenthèses (règle 6.2 b) PCT).

2. Contrairement à ce qu'exige la règle 5.1 a) II) PCT, la description n'indique pas l'état de la technique antérieure pertinent tel qu'exposé dans les documents D1-D3 et ne cite pas ces documents.

une dizaine de degrés en angle externe de part et d'autre des directions orthogonales aux deux faces parallèles soumises au rayonnement. Un tel écart angulaire n'est pas toujours suffisant pour accéder à la totalité des directions d'accord de phase existantes. D'autre part la réfraction en incidence oblique conduit à une déformation et à un élargissement spectral des faisceaux générés.

D'autres dispositifs accordables à matériaux parallélépipédiques sont destinés à la conversion de fréquence par interaction optique non linéaire en quasi-accord de phase. Ils utilisent alors la translation par rapport au rayonnement d'un échantillon parallélépipédique dans lequel ont été gravés plusieurs réseaux de différentes périodicités. L'inconvénient majeur de cette technique est qu'il est nécessaire de réaliser pour chaque saut d'un réseau à l'autre, un accord angulaire ou thermique afin de rendre continue la plage spectrale du rayonnement généré.

Ceci est valable que l'interaction soit résonante ou non, c'est-à-dire que l'échantillon soit placé dans une cavité ou non.

D'autres dispositifs de l'art antérieur nécessitent un milieu d'adaptation d'indice, et/ou ne présentent pas une finesse spectrale satisfaisante sur une large gamme d'accordabilité.

La présente invention vise à pallier les inconvénients des dispositifs et techniques de l'art antérieur et propose un dispositif pour la génération, par interaction(s) à trois ou quatre ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence, ne nécessitant pas de milieu d'adaptation d'indice, caractérisé :

- en ce qu'il est essentiellement constitué par un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète, ou bien de manière tronquée sur au moins deux cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution ou bien de manière partielle sur un seul de ces cadrans, et

- en ce qu'il comprend en outre un système optique dont la combinaison avec ledit cristal :

permet d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, de manière à générer un plan focal à l'intérieur dudit cristal, et un plan focal entre la partie dudit système optique qui confine et focalise et la partie entrée dudit cristal, et

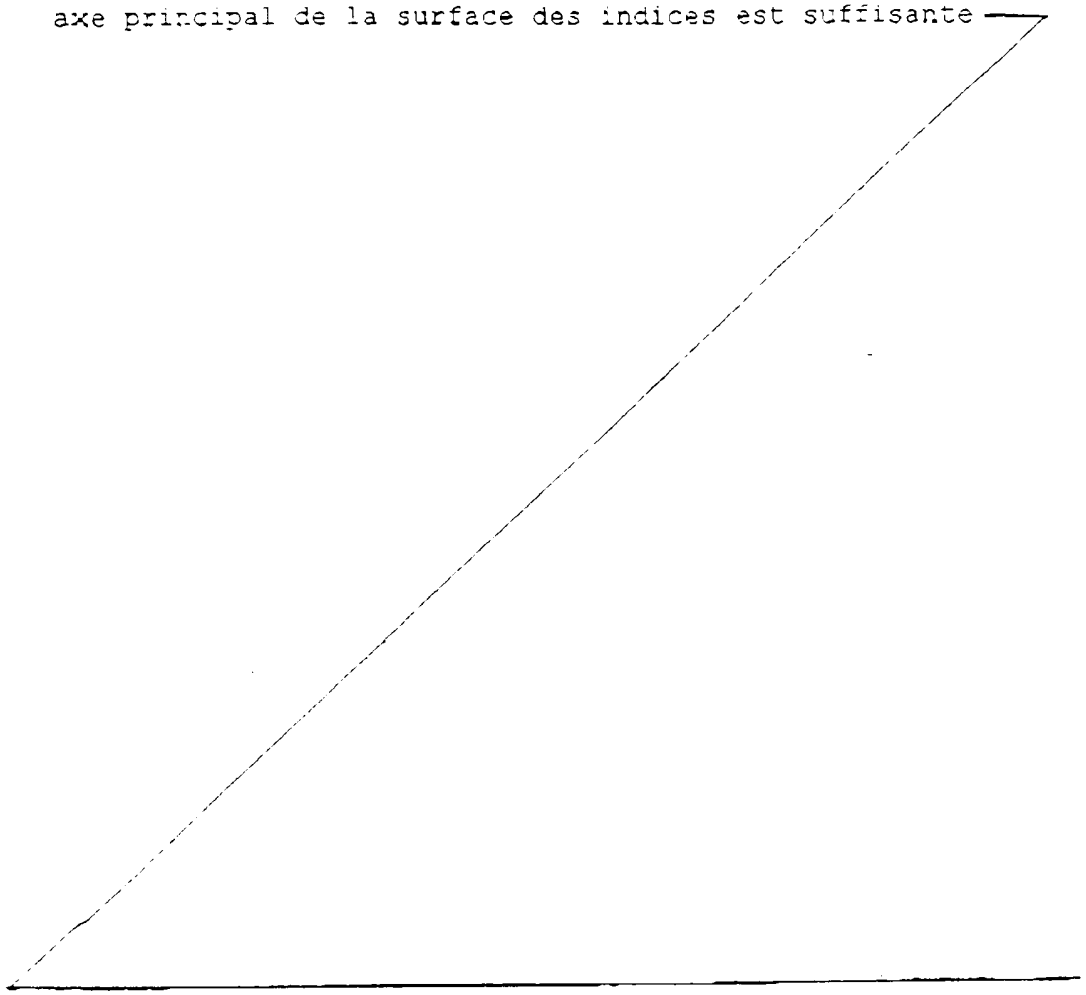
permet d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s), de manière à générer un plan focal entre la partie sortie dudit cristal et la partie dudit système optique qui collimate et dirige (cf. figure 3).

Par volume cylindrique de révolution, on entend dans la présente demande un volume de révolution décrit par un segment de droite ou de courbe se déplaçant le long de deux courbes fermées situées dans des plans parallèles. Ces courbes fermées peuvent être choisie parmi le groupe constitué par des cercles et des ellipses.

Le terme volume cylindrique de révolution comprend donc un volume de cylindre tel qu'illustré sous la référence 1 en figure 2 (volume décrit par un segment de droite), et un volume de cylindroïde, tel qu'illustré sous la référence 2 en figure 2 (volume décrit par un segment de courbe). Il doit être souligné que ces volumes cylindriques de révolution (cylindre et cylindroïde)

peuvent présenter une section choisie parmi le groupe constitué par une section circulaire, et une section elliptique. Une telle section peut notamment être considérée suivant un plan orthogonal à l'axe de révolution.

Ce volume cylindrique de révolution constitue, lorsqu'il est décrit de manière complète, un volume de base, à partir duquel peuvent être dérivés des volumes décrits de manière tronquée, ou bien encore de manière partielle. En effet, compte-tenu de la symétrie de la surface des indices, une rotation de $\Delta\ \alpha = 90°$ d'un cristal à volume cylindre de révolution par rapport à un axe principal de la surface des indices est suffisante



ledit cristal, et qu'un deuxième d'entre eux est capable de diminuer la divergence du rayonnement laser émergent du cristal, tout en permettant de générer un plan focal entre les parties entrées dudit système optique et dudit cristal, un plan focal à l'intérieur dudit cristal, et un plan focal entre les parties sorties dudit système optique et dudit cristal (cf. figure 3). Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs paire(s) de tels éléments optiques, et en particulier une ou plusieurs paire(s) de lentilles.

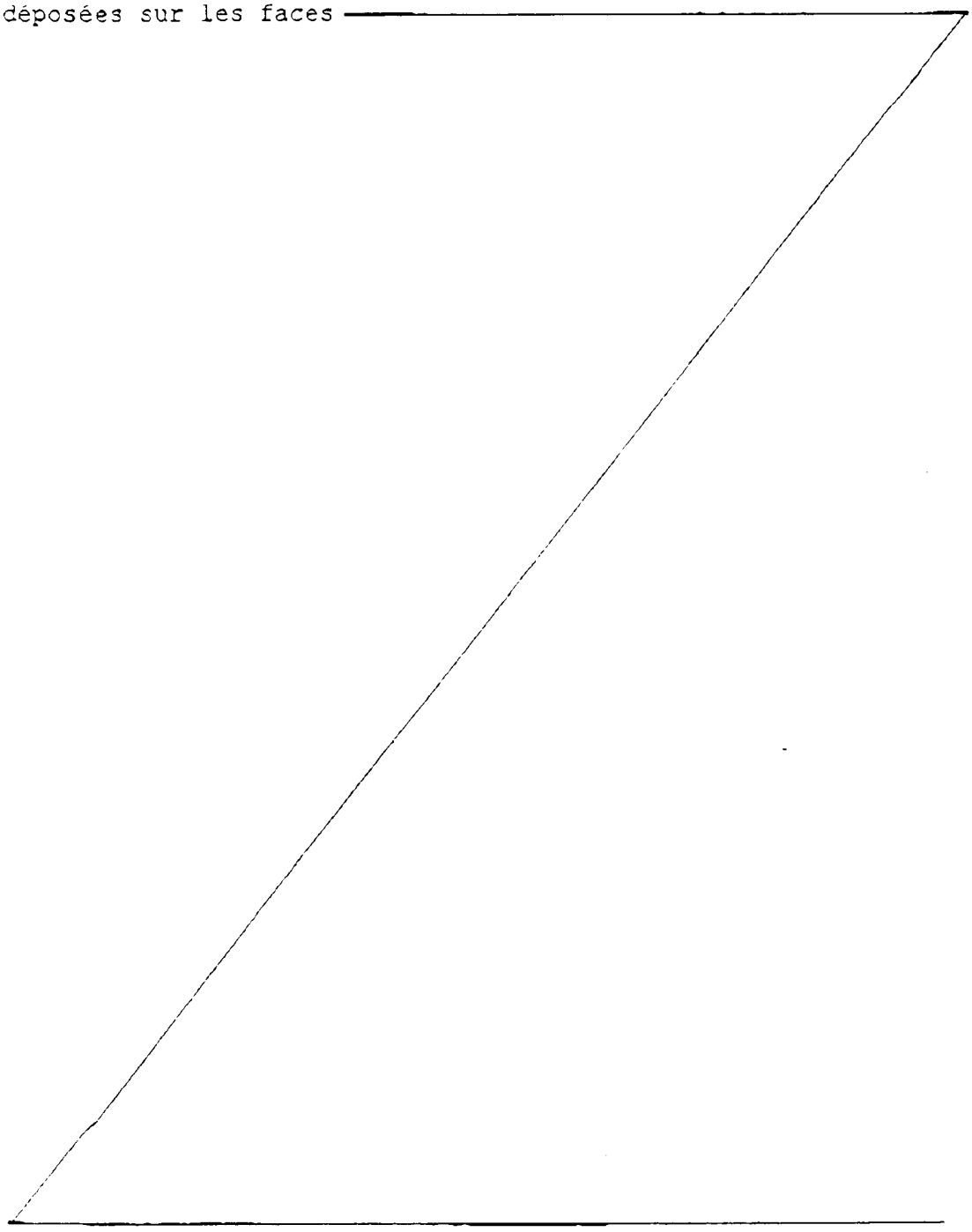
La distance focale desdits éléments est telle que le (ou les) rayonnement(s) a (ont) une dimension faible par rapport au rayon dudit cristal pour limiter les aberrations optiques et augmenter l'efficacité d'interaction, et que cette dimension soit suffisante pour éviter un endommagement du cristal par une intensité incidente trop importante. Cette distance focale est généralement comprise entre 50 et 500mm environ.

Selon un autre aspect avantageux de l'invention, l'axe de révolution dudit cristal est confondu avec un axe mécanique rotatif de façon à ce que le cristal puisse tourner autour de son axe. Un tel cristal peut alors être avantageusement solidarisé avec un dispositif goniométrique permettant de contrôler son déplacement angulaire.

Selon encore un autre aspect avantageux de l'invention, ledit cristal est un cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence, tel qu'un cristal monocristallin, ou bien est un cristal à propriété de quasi-accord de phase.

Un dit cristal à propriété de quasi-accord de phase peut présenter, le long de la direction de propagation des rayonnements recherchée, une juxtaposition périodiquement alternée de domaines monocristallins, c'est-à-dire une juxtaposition de couches monocristallines tournées d'un angle de 180° les unes par rapport aux autres. Un tel cristal à propriété de quasi-accord de phase peut par exemple être obtenu

par usinage et juxtaposition de monocristaux, ou bien encore par application d'un champ électrique à un réseau d'électrodes déposées sur les faces



FEUILLE MODIFIEE

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour la génération, par interaction(s) à trois ou quatre ondes à partir d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) incident(s), d'un ou plusieurs rayonnement(s) optique(s) émergent(s) accordable(s) au moins en fréquence, ne nécessitant pas de milieu d'adaptation d'indice, caractérisé :

- en ce qu'il est essentiellement constitué par un cristal à propriété optique non linéaire dont la surface définit un volume cylindrique de révolution de manière complète, ou bien de manière tronquée sur au moins deux cadrans opposés et symétriques par rapport à son axe de révolution, ou bien encore de manière partielle sur un seul de tels cadrans, et
- en ce qu'il comprend en outre un système optique dont la combinaison avec ledit cristal :

permet d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, de manière à générer un plan focal à l'intérieur dudit cristal, et un plan focal entre la partie dudit système optique qui confine et focalise et la partie entrée dudit cristal, et

permet d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s), de manière à générer un plan focal entre la partie sortie dudit cristal et la partie dudit système optique qui collimate et dirige.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit cristal présente un volume choisi parmi le groupe constitué par un volume de cylindre (1), un volume de cylindroïde (2), un volume de cylindre tronqué (3), un volume de cylindroïde tronqué (4), un volume de cylindre ou de cylindroïde partiel (5).

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit volume cylindrique présente une section choisie parmi le groupe constitué par une section circulaire et une section elliptique.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal comporte au moins une entité chimique hyperpolarisable.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal choisi parmi le groupe constitué par un cristal de $LiTaO_3$, de $KTiOPO_4$, de $KTiOAsO_4$, de $RbTiOPO_4$, de $RbTiOAsO_4$, de $CsTiOAsO_4$, de $\beta.BaB_2O_4$, de LiB_3O_5, de $KNbO_3$, de $LiIO_3$, de $LiNbO_3$, de KD_2PO_4, de KH_2PO_4, de $NH_4H_2PO_4$, de CsD_2AsO_4, de CsH_2AsO_4, de $AgGaS_2$, de $AgGaSe_2$, de $ZnGeP_2$, de Tl_3AsSe_3 et un cristal de GaAs.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit système optique est essentiellement constitué par au moins deux éléments placés de part et d'autre dudit cristal et choisis parmi le groupe constitué par une lentille convergente, une lentille divergente, un ensemble de lentilles, une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté dudit cristal, et une surface réfléchissante ou un miroir avec la concavité orientée du côté opposé dudit cristal.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de révolution dudit cristal est confondu avec un axe mécanique rotatif de façon à ce que le cristal puisse tourner autour de son axe.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal à propriété d'accord de phase par biréfringence.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal monocristallin.

FEUILLE MODIFIEE

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit cristal est un cristal à propriété de quasi-accord de phase.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit cristal présente, le long de la direction de propagation des rayonnements recherchés, une juxtaposition périodiquement alternée de domaines monocristallins.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de révolution dudit cristal est orthogonal au plan de la (ou des) direction(s) de vecteurs d'onde d'une interaction recherchée, et plus particulièrement de la (ou des) direction(s) permettant une efficacité maximale de cette interaction.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal contient la (ou les) direction(s) permettant une efficacité maximale de l'interaction, de telle manière qu'elle(s) soit (soient) accessible(s) audit (auxdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) en incidence normale ou proche de la normale sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution, soit par rotation dudit cristal autour de son axe de révolution, soit par rotation dudit (desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) autour dudit cristal dans un plan orthogonal à l'axe de révolution dudit cristal.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend (comprennent chacun) une, deux, trois ou quatre fréquence(s) égales ou différentes, à vecteurs d'onde colinéaires ou non colinéaires, et en incidence normale ou proche de la normale sur une (des) surface(s) dudit cristal définissant un volume cylindrique de révolution.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal presente un réseau de domaines monocristallins choisi parmi le groupe constitué par un reseau de domaines monocristallins plans, un réseau de domaines monocristallins circulaires, un réseau de domaines monocristallins elliptiques.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal présente un réseau de domaines périodiquement alternés, éventuellement entouré d'une couronne monocristalline (c) non alternée.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) est un (sont des) rayonnement(s) laser, notamment un (des) rayonnement(s) laser choisi(s) parmi le groupe constitué par un rayonnement laser à fréquence(s) fixe(s) et un rayonnement laser à frequence(s) accordable(s).

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite (ou lesdites) interaction(s) est (sont des) une interaction(s) choisie(s) parmi le groupe constitué par une interaction à trois ondes ou une interaction à quatre ondes.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal présente une structure non centro-symétrique, de telle sorte que ledit dispositif permette une interaction à trois ondes.

20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, et en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à la somme

desdites deux, ou le cas échéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui est égale au double ou au triple d'une fréquence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, et en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend une fréquence qui correspond à une différence entre lesdites deux, ou le cas échéant trois fréquences comprises dans ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s) comprend deux fréquences pour une interaction à trois ondes, ou trois fréquences pour une interaction à quatre ondes, dont la somme est égale à une fréquence comprise dans ledit (ou au moins un desdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s).

24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce que ladite (ou au moins une desdites) interaction(s) est une interaction à vecteurs d'ondes colinéaires.

25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce que ladite interaction est une interaction à vecteurs d'ondes non colinéaires.

26. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite (ou au moins une

desdites) interaction(s) est une interaction choisie parmi le groupe constitué par une amplification paramétrique optique, une génération de second ou tierce harmonique.

27. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est placé à l'intérieur d'une cavité permettant une interaction résonante, et en ce que ledit système optique permettant d'une part de confiner et de focaliser ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) incident(s) sur la (les) partie(s) centrale(s) dudit cristal, et permettant d'autre part de collimater et de diriger ledit (lesdits) rayonnement(s) optique(s) émergent(s), est placé à l'extérieur de ladite cavité.

28. Dispositif selon la revendication 27, caractérisé en ce que ladite interaction résonante est une interaction à trois ou quatre ondes choisie parmi le groupe constitué par une oscillation paramétrique optique, une amplification paramétrique optique, une génération de second ou tierce harmonique.

29. Dispositif selon la revendication 27 ou 28, caractérisé en ce que ladite cavité comporte des surfaces réfléchissantes entrée et sortie en regard l'une de l'autre permettant la résonance d'au moins une des ondes en interaction.

30. Dispositif selon la revendication 29, caractérisé en ce que ladite surface réfléchissante entrée est choisie parmi le groupe constitué par une surface réfléchissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure, avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité.

31. Dispositif selon la revendication 29 ou 30, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance a un angle de double réfraction ρ non nul, et en ce que ladite

surface réfléchissante sortie présente un rayon de courbure, avec une concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, de façon à ce que les faisceaux aller et retour soient confondus.

32. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 29 à 31, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance a un angle de double réfraction ρ non nul, et en ce que ladite surface réfléchissante sortie est placée à une distance (d) dudit cristal et présente un rayon de courbure R dont les valeurs respectives répondent à l'équation R = d-L avec d supérieur à L pour une concavité orientée du côté dudit cristal, ou à l'équation R = L-d avec d inférieur à L pour une concavité orientée du côté opposé dudit cristal, avec L défini par $L = R_c (\cos(2\rho) + (\sin(2\rho) / \tan(\rho_e)) - 1)$, avec R_c étant le rayon du volume cylindrique de révolution, ρ l'angle de double réfraction, et avec ρ_e défini par $\rho_e = \arcsin(n \sin(2\rho) - 2\rho)$, avec n étant l'indice de réfraction de ladite au moins une onde dont la résonance est recherchée.

33. Dispositif selon la revendication 29 ou 30, caractérisé en ce que ladite au moins une onde en résonance présente un angle de double réfraction ρ nul, et en ce que ladite surface réfléchissante sortie est choisie parmi une surface réfléchissante plane et une surface réfléchissante présentant un rayon de courbure, avec la concavité choisie parmi le groupe constitué par une concavité orientée du côté dudit cristal et une concavité orientée du côté opposé, de manière à optimiser le seuil d'oscillation et la stabilité de la cavité.

34. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour le contrôle thermostatique dudit cristal

35. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit cristal est maintenu à une température différente de la température ambiante.

36. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens permettant d'appliquer un champ électrique statique ou de basse fréquence à l'intérieur dudit cristal.

37. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérise en ce qu'il comprend en outre une paire d'électrodes placées sur des faces opposées dudit cristal.

38. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il constitue un élément choisi parmi le groupe constitué par un élément de spectroscope, un élément de système de télédétection, un élément de systeme de télétransmission, un élément de système de téléguidage, un élément de système LIDAR, un élément de système de contre-mesures optroniques.

39. Méthode pour la génération d'un rayonnement optique accordable au moins en fréquence, caractérisé en ce qu'elle met en œuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes.

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 59220-896	**POUR SUITE A DONNER** voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après	
Demande internationale n PCT/FR 98/ 02563	Date du dépôt international *(jour/mois/année)* 27/11/1998	(Date de priorité (la plus ancienne) *(jour/mois/année)* 27/11/1997
Déposant UNIVERSITE DE BOURGOGNE et al.		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 3 feuilles.

[X] Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

1. [ ] **Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche** (voir le cadre I).

2. [ ] **Il y a absence d'unité de l'invention** (voir le cadre II).

3. [ ] La demande internationale contient la divulgation **d'un listage de séquence de nucléotides ou d'acides aminés** et la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage de séquence

   - [ ] déposé avec la demande internationale
   - [ ] fourni par le déposant séparément de la demande internationale
     - [ ] sans être accompagnée d'une déclaration selon laquelle il n'inclut pas d'éléments allant au-delà de la divulgation faite dans la demande internationale telle qu'elle a été déposée.
   - [ ] transcrit par l'administration

4. En ce qui concerne le titre,
   - [X] le texte est approuvé tel qu'il a été remise par le déposant.
   - [ ] Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

5. En ce qui concerne l'**abrégé**,
   - [X] le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant
   - [ ] le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

6. La figure **des dessins** à publier avec l'abrégé est la suivante:

   Figure n 1

   - [ ] suggérée par le déposant.
   - [X] parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.
   - [ ] parce que cette figure caractérise mieux l'invention.
   - [ ] Aucune des figures n'est à publier.

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 59220-896	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/FR98/02563	International filing date (*day/month/year*) 27 November 1998 (27.11.98)	Priority date (*day/month/year*) 27 November 1997 (27.11.97)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G02F 1/35		
Applicant UNIVERSITE DE BOURGOGNE		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 5 sheets, including this cover sheet.

   [x] This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

   These annexes consist of a total of 13 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

   - I [x] Basis of the report
   - II [ ] Priority
   - III [ ] Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
   - IV [ ] Lack of unity of invention
   - V [x] Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
   - VI [ ] Certain documents cited
   - VII [x] Certain defects in the international application
   - VIII [ ] Certain observations on the international application

Date of submission of the demand	Date of completion of this report
15 May 1999 (15.05.1999)	01 March 2000 (01.03.2000)
Name and mailing address of the IPEA/EP Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

national application No.
PCT/FR98/02563

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

☐ the international application as originally filed.

☒ the description, pages 1, 4-7, 9-44, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages 2, 3, 3bis, 8, 8bis, filed with the letter of 27 January 2000 (27.01.2000),
pages _____, filed with the letter of _____.

☒ the claims, Nos. 2-5, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. 1, 6-39, filed with the letter of 27 January 2000 (27.01.2000),
Nos. _____, filed with the letter of _____.

☒ the drawings, sheets/fig 1/11-11/11, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

☐ the description, pages _____
☐ the claims, Nos. _____
☐ the drawings, sheets/fig _____

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

INTERNATIONAL PRE[redacted]NARY EXAMINATION REPORT

International application No.
[redacted]/FR 98/02563

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-39	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-39	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-39	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

Reference is made to the following documents cited in the search report. The numbers they are allocated below will be used throughout the proceedings:

D1: FR-A-2 738 360

D2: PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Vol.018, no. 510 (P-1804), 26 September 1994 -& JP 06 175 181 A, 24 June 1994

D3: US-A-5 644 422

1. Document D1 describes a device for generating, one or several emerging optical radiation(s), tuneable at least in frequency (see page 1, lines 4-5), from one or several incoming optical radiation(s) (see page 1, lines 6-7) by three-wave-interaction. Said device comprises a crystal with non-linear optical properties the surface of which completely defines a cylindrical volume of revolution (see Figure 1, (1)). Said cylindrical crystal is placed in a sealed chamber between two windows made of divergent applanate concave lenses (see page 2, line 10) and the crystal and the internal faces of the windows bathe in an index-matching liquid.

The applicants attempt to define the subject matter of the present Claim 1 by the fact that the device differs in that it "does not require an index-matching liquid". Generally, the subject matter of a claim is defined by its positive features. However, it is possible to limit the scope of the claim by means of a "disclaimer", i.e. to expressly exclude an element clearly defined by its technical features from the protection claimed. The use of a "disclaimer" is reserved for those cases in which the subject matter remaining in the claims cannot be defined more clearly and more concisely by its positive features (see PCT Guidelines Ch III, 4.12). The description describes that the crystal "can be placed in open air", consequently, said "disclaimer" is interpreted as meaning that the crystal is placed in the open air". It is suggested that in the regional phase, the applicant replace said "disclaimer" by the positive wording "is placed in the open air".

The characterising portion of Claim 1 defines an optical system by functional features, i.e. that the device comprises said optical system which, when combined with the cylindrical crystal, enables the incident radiation to be confined and focussed on three focal planes. Thus, the radiation generates a focal plane within said crystal, a focal plane between the part of said optical system which confines and the entry of said crystal, and enables the emerging optical radiation to be collimated. Document D1 discloses an optical system which comprises a divergent applanate concave lens which has the opposite effect, that of diverging and defocusing the incident radiation. The windows

disclosed cannot, therefore, enable the generation of focal planes as defined in Claim 1. Said optical system defined in the characterising portion of Claim 1 is such that the efficiency of interaction is increased and the optical aberrations are limited without using an index-matching medium. The device disclosed in D1 does not suggest this modification of the optical system and, furthermore, said modification is not considered obvious for a person skilled in the art. Thus, the subject matter of Claim 1 (and corresponding method claim, Claim 40) appears to fulfil the requirements of PCT Article 33(1).

2. Claims 2-39 are dependent on Claim 1 and therefore also fulfil per se the requirements of the PCT as regards novelty and inventive step.

VII. Certain defects in the international application

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:

1. The features in the claims are not provided with reference signs placed between parentheses (PCT Rule 6.2(b)).

2. Contrary to the requirements of PCT Rule 5.1 (a)(ii), the description does not outline the relevant prior art disclosed in documents D1-D3 and does not cite these documents.